

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

TKANINY Z WOLFRAMOVÝCH (W)
DRÁTKŮ JAKO VÝZTUŽ KOMPOZITNÍCH
SYSTÉMŮ

FABRICS FROM WOLFRAM (W) WIRES AS REINFORCEMENT
OF COMPOSITE SYSTEMS

LIBEREC 2008

HANA LEDEREROVÁ
POČET STRAN: 95

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na téma „kompozitní systémy s kovovou výztuží“ - nové aplikace, jejich opodstatnění, požadavky na vlastnosti, kovové tkaniny, charakteristiky drátků.
2. Navrhněte technologii pro výrobu tkanin z w-drátků.
3. Připravte sérii vzorků tkanin lišících se jemností použitých w-drátků.
4. Zhodnoťte navrženou technologii.

Doporučená literatura:

1. Moravec, V.: Kovové tkaniny. Přednášky z předmětu Speciální tkalcovské výroby. TU Liberec, 1999.
2. Standardy kvality kovových tkanin: DIN ISO 4783, W&E norma pro výrobu tkanin.
3. Sémanová, J., Chrpová, E.: Návod na cvičení. Speciální tkalcovské výroby. TU Liberec, 2007.

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne 12.5. 2008

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala především mé vedoucí diplomové práce, paní doc. ing. Elišce Chrpové, CSc., za obrovskou ochotu a pomoc, kterou mi věnoval při zpracování této diplomové práce. Dále ing. Janu Grégrovi, z katedry chemie, za cenné rady, kolektivu zaměstnanců katedry textilních materiálů a katedry textilních technologií, za poskytnutí měřicího zařízení. Ale také firmě Elas v Hrádku nad Nisou, se kterou jsem po celou dobu spolupracovala a která mi poskytla strojní zařízení na výrobu tkaniny. Dále bych také chtěla poděkovat svým rodičům, díky kterým mohu studovat a kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Anotace:

Tato diplomová práce je vypracovaná na téma Tkaniny z wolframových (w) drátků jako výztuž kompozitních systémů. Práce je zaměřena na kovové tkaniny, především na výrobu tkaniny z wolframového drátku a na její vlastnosti.

První, rešeršní, část se zabývá popisem současného stavu kompozitních systémů s kovovou výztuží, novými aplikacemi, jejich opodstatněními, požadavky na vlastnosti, kovovými tkaninami a charakteristikou drátků.

Druhá, experimentální, část popisuje výrobní předpis pro výrobu tkaniny z wolframového drátku včetně popisu strojního zařízení, na kterém byly vyrobeny, výrobu tkaniny, měření vybraných vlastností drátků a tkaniny, metody, principy měření a přístroje, na kterých byly zkoumány vybrané parametry tkanin z wolframového drátku.

Poslední, závěrečná, část se zabývá interpretací výsledků a shrnutím zjištěných poznatků.

Abstrakt:

This diploma thesis is worked out on the theme Fabrics from wolfram (w) wires as reinforcement of composite systems. As it is already evident from the title this study is focused on metal fabrics, first of all on output fabrics from wolfram wire and on its properties.

The first, background, research deals with description contemporary state composite systems with metal reinforcement, with new applications, their foundation, requirements on properties, metal fabrics and characteristics of wires.

The second, experimental, part describes production recipe for production fabrics from wolfram wire including description mechanical apparatus, whereat was produced by, production of fabrics, measurement selected properties of wires and fabrics, method, principles of metering and apparatuses on which the selected parameters of fabrics from wolfram wire were researched.

The last, final, part deals with interpretation of results and the summary of ascertained observations.

KLÍČOVÁ SLOVA

TKANÍ je vzájemné provazování dvou soustav nití, osnovy a útku. Probíhá ve čtyřech cyklech: otevření prošlupu, zanesení útku, zavření prošlupu a příraz útku.

TKANINA je plošná textilie, která vznikne vzájemným provázáním dvou soustav nití, podélné (osnovy) a příčné (útku), podle určitých pravidel dané vazby.

KOVOVÁ TKANINA je plošný útvar, který vznikne zpravidla vzájemným provázáním dvou soustav nití, osnovy a útku. Osnova i útek jsou z drátu kruhového průřezu a provazují obvykle v plátnové či keprové vazbě.

VÝROBNÍ PŘEDPIS obsahuje všechny technické údaje daného druhu tkaniny. Jsou to například: název tkaniny, šířka tkaniny, dostava osnovy a útku, celkový počet osnovních a útkových nití, číslo paprsku, vazba tkaniny, hmotnost tkaniny atd.

KOMPOZITNÍ SYSTÉM je heterogenní materiál složený ze dvou nebo více fází, které jsou vzájemně odděleny mezifázovým rozhraním a výrazně se liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

MATRICE je složka kompozitního systému, která je zpravidla spojitá, houževnatá či plastická. Jejím úkolem je jak spojovat výztuže dohromady, tak zajistit správné rozmístění výztuže v příčném řezu tak, aby byly zajištěny dobré mechanické vlastnosti.

VÝZTUŽ je složka kompozitního systému, která je nespojitá, tvrdší a pevnější. Jejím úkolem je především zajistit mechanické vlastnosti materiálu (pevnost a tuhost). Na výztuži ale závisí i elektrické vlastnosti a proto má typ výztuže klíčový vliv na vlastnosti kompozitu.

WOLFRAM - W - je kov ocelově šedé barvy. Má nejvyšší teplotu tavení ze všech kovů (3400°C) a nejvyšší měrnou hmotnost z kovů obecných ($19,1\text{ g/cm}^3$). V praxi se používá v čistém stavu i v podobě různých slitin a sloučenin. Z čistého wolframu se vyrábějí vlákna žárovek.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

\bar{X} [rozměr]	průměrná hodnota
n	počet měření
i	pořadí měření
s [rozměr]	směrodatná odchylka
s^2 [rozměr na druhou]	rozptyl
v [%]	variační koeficient
IS [rozměr]	interval spolehlivosti
Σ	suma
F_v [%]	procento volné plochy
F_c [m ²]	celková plocha tkaniny
F_d [m ²]	plocha vyplněná dráty
A [%]	tažnost
A [mm]	prodloužení v maximu
E [MPa]	Youngův modul pružnosti
σ [Mpa]	napětí
F [N]	pevnost
W [J]	energie do přetrhu
f [N/tex]	poměrná pevnost
Fr [1]	křehkost
Δl [mm]	protažení při max síle
l_o [mm]	upínací délka
l [km]	délka
m [g]	hmotnost
T [tex]	jemnost
D [μm]	průměr smyčky při přetrhu
Do [nt/1m]	dostava osnovy
$Dú$ [nt/1m]	dostava útku
do [mm]	průměr osnovní nitě
$dú$ [mm]	průměr útkové nitě
ρ [kg/m ³]	měrná hmotnost

OBSAH

ÚVOD	10
1. REŠERŠNÍ ČÁST	12
1.1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY – DEFINICE	12
1.1.1 Kompozitní systémy - rozdělení	14
1.1.2 Vláknové kompozitní materiály - výztuže	16
1.1.3 Kompozitní materiály s kovovou maticí	18
1.1.4 Vlastnosti kovových kompozitních systémů	19
1.2 KOVOVÉ TKANINY	20
1.2.1 Charakteristiky kovové tkaniny	21
1.2.1.1 Materiál kovové tkaniny	21
1.2.1.2 Průměr drátu	22
1.2.1.3 Rozměr a tvar oka	22
1.2.1.4 Volná plocha tkaniny	22
1.2.1.5 Vazby kovových tkanin	23
1.2.1.5.1 Vazby kovových tkanin dle W&E normy	23
1.2.2 Parametry kovové tkaniny	27
1.2.3 Stroje na výrobu kovových tkanin	27
1.2.4 Speciální kovové tkaniny	29
1.2.4.1 Tkaniny rabicové	29
1.2.4.2 Tkaniny slepě tkané - filtrační	30
1.2.4.3 Loupací tkaniny	31
1.2.4.4 Nekonečné pásy	31
1.2.4.5 Závěsné pásy	32
1.2.4.6 Pancéřové tkaniny	32
1.3.4 Kovová tkaniny jako výztuž kompozitních systémů	33
1.3 WOLFRAM	34
1.3.1 Charakteristika a vlastnosti wolframu	34
1.3.2 Rudy a výskyt	36
1.3.3 Výroba wolframu	36
1.3.4 Sloučeniny wolframu	38
1.3.5 Biologický význam wolframu	39

1.3.6 Použití wolframu a jeho slitin	39
1.4 PATENTY	41
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	44
2.1 ZJIŠTĚNÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK W-DRÁTKŮ	46
2.1.1 Určení průměru drátků	48
2.1.2 Určení jemnosti drátků	49
2.1.3 Povrch w-drátku - podélný pohled	51
2.1.4 Příčný řez w-drátků	55
2.1.5 Stanovení pevnosti a tažnosti v tahu	57
2.1.6 Stanovení pevnosti a tažnosti v uzlu	63
2.1.7 Stanovení pevnosti ve smyčce	67
2.1.8 Cyklické namáhání	69
2.2 VÝROBNÍ PŘEDPIS	74
2.2.1 Výrobní předpis kovové tkaniny z w-drátků	74
2.2.2 Náklady na výrobu kovové tkaniny	75
2.3 VÝROBA TKANINY Z W-DRÁTKŮ	78
2.3.1 Soukání osnovy	78
2.3.2 Tkaní kovové tkaniny	79
2.4 NÁVRH TECHNOLOGIE	80
2.5 ZJIŠTĚNÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK TKANINY	82
2.5.1 Dostava kovové tkaniny	82
2.5.2 Adheze kovové tkaniny z w-drátků	84
3. DISKUSE A ZÁVĚR	88
LITERATURA	93
SEZNAM PŘÍLOH	95

ÚVOD

Výzvou v textilním průmyslu je v posledním období výroba a zpracování speciálních vláken, které jsou díky svým specifickým vlastnostem určeny do výrobků pro speciální použití. Velká pozornost je v dnešní době věnována výrobě a aplikaci speciálních vláken, kterými jsou například vlákna uhlíková, skleněná, kovová apod. Tyto materiály postupně nahrazují klasické materiály a nacházejí své uplatnění především v kompozitních materiálech.

Pro efektivní využití kompozitů a vývoj nových kompozitních materiálů je nezbytné se důkladně zabývat jejich strukturou a vlastnostmi, které jsou úzce spjaty s použitým vyztužujícím materiálem. Vyztužující složkou nejtužších a nejpevnějších kompozitů jsou kovová vlákna.

Tato diplomová práce je věnována nové, právě vyvíjené technologii výroby kovové tkaniny z wolframových drátků. Wolframový drátek je žárovkové vlákno, které přinese do budoucna užitek především díky svým mechanickým a tepelným vlastnostem. Již začíná nacházet své uplatnění například jako výztuž v již zmíněných kompozitních systémech.

Dosud se v diplomových pracích nikdy neřešila problematika kovových tkanin. Toto byla tedy první praktická zkušenost s tkaním drátků.

Sortiment kovových tkanin je speciální skupina vysoce technických tkanin, které je možné podle použitého materiálu, a z toho vyplývajících vlastností, zařadit spíše do oboru strojírenství.

Technologie výroby kovové tkaniny je ale velmi blízká klasické textilní technologii výroby tkanin. Liší se pouze v procesu přípravy materiálu tím, že u drátů odpadá šlichtování, neprovádí se přisukování a u hotové kovové tkaniny se neprovádí konečné úpravy, jako u textilních tkanin (praní, barvení apod.). U tkaní z drátů větších průměrů se může odchylka projevit větší tuhostí tkalcovského stavu.

Práce se dále zabývá rozbořem mechanických vlastností wolframových drátků. I když základní informace o pevnosti a modulu pružnosti poskytují výrobci drátků, tyto informace nepostačují, pokud chceme wolframové drátky dále zpracovávat textilními technologiemi. Potřebujeme totiž dokonale znát pravděpodobnost porušení vláken při různých délkách namáhání. Dále byl sledován i povrch wolframového drátku a jeho narušení během výroby tkaniny a povrch příčného řezu drátku.

V teoretické části této práce se seznámíme s kompozitními systémy, s jejich aplikacemi a s kovovými tkaninami. Dále s materiálem, ze kterého bylo v této práci tkáno, tzn. s wolframem a s jeho vlastnostmi. Teoretickou část doplňují patenty, které souvisí s danou problematikou.

Experimentální část se zabývá popisem mechanických a doplňujících zkoušek, dále konkrétní výrobou kovové tkaniny z wolframových drátků, statistickým zpracováním výsledků a diskusí výsledků. Experimenty byly prováděny se 2 typy wolframových drátků (průměr 50 a 100 μm) a s wolframovou tkaninou utkanou z těchto drátků.

V závěrečné části se práce zabývá interpretací výsledků a shrnutím zjištěných poznatků.

1. REŠERŠNÍ ČÁST

1.1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY – DEFINICE

Definovat kompozitní materiál je složitý problém, protože ještě dnes existuje i mezi odborníky z oboru materiálů mnoho nejasností týkající se těchto materiálů. Jedná se o nejdynamičtěji se rozvíjející skupinu nových materiálů [2].

Slovo „kompozitní“ znamená vytvořený či skládající se ze dvou či více částí. Nejčastěji se v literatuře [1] uvádí definice kompozitních materiálů takto:

Jakýkoli materiál, který není čistá látka a obsahuje více než jednu složku, může být teoreticky klasifikován jako kompozitní materiál. Ale odlišení kompozitního materiálu od běžné heterogenní materiálové směsi je tzv. synergický efekt. Synergický efekt nám říká, že kombinací materiálů je nutné získat nové, odlišné vlastnosti, než poskytují samotné materiály nebo lepší vlastnosti než je jen prostý součet vlastností materiálů, z nichž se kompozitní materiál skládá. Synergický účinek je tedy objektivní charakteristika, kterou se kompozitní materiály odlišují od ostatních [1].

Další definici kompozitních materiálů formuloval Bareš [2] takto:

Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně ani prostou sumací [2].

U klasických kompozitních materiálů je jedna složka zpravidla spojitá, houževnatá, anebo plastická a tu nazýváme matrice a jedna nebo více složek (fází) nespojitých (diskontinuálních), které jsou tvrdší a pevnější a ty nazýváme výztužné materiály nebo výztuže [2].

Úkolem výztuže je především zajistit mechanické vlastnosti materiálu, jako je pevnost a tuhost. Na výztuži ale závisí i elektrické vlastnosti a proto má typ výztuže klíčový vliv na vlastnosti kompozitu [4].

Úlohou matrice je vzájemně spojovat vyztužující fázi a přenášet do ní zatížení. Matrice tedy chrání výztuž před vlivy okolí. Funkci pojiva by si měla matrice udržet i po prvních poruchách výztuže a její poměrné prodloužení při přetržení by mělo být větší

než mezní prodloužení výztuže. Tento požadavek splňují pouze polymerní a kovové matrice. Další úlohou matrice je zajistit správné rozmístění výztuže v příčném řezu tak, aby byly zajištěny dobré mechanické vlastnosti. Druh matrice určuje také další vlastnosti, jako je odolnost proti korozi, elektricko-izolační vlastnosti, odolnosti proti teplotě a ohni [18, 4].

Za nejobecnější definici lze považovat definici navrženou Sodomkou v [3].

Kompozitní materiály se skládají nejméně ze dvou konstituentů, z nichž alespoň jeden je tuhý a jejich vlastnosti se odlišují od vlastností původních konstituentů a vlastností získaných jejich adicí [3].

Konstituent je společný název pro složku a fázi. Složka je chemická látka skládající soustavu (soustavou zde rozumíme kompozitní materiál). Za fázi kompozitního materiálu označujeme odlišné struktury jedné složky (homogenní části soustavy oddělené hranicí od ostatních fází fázovým rozhraním) [3].

Jednou z hlavních charakteristik kompozitních materiálů je, že nikdy nejsou univerzální a jsou navrhovány výhradně pro konkrétní použití [2].

1.1.1 KOMPOZITNÍ SYSTÉMY - ROZDĚLENÍ

Kompozitní systémy lze klasifikovat podle celé řady parametrů a hledisek. Nejčastěji se však používá rozdělení podle typu matrice, druhu dispergované složky a struktury nebo geometrického charakteru výztuže [2, 18, 21].

1) Podle materiálu matrice = podle základní spojité fáze:

- a) kovové kompozity (např. slitiny, kovy zpevněné disperzemi, kovy vyztužené částicemi, cementy, kovy vyztužené vlákny)
- b) polymerní kompozity (s termoplastovou, reaktoplastovou nebo elastomerní matricí, zpevněné jinými polymery)
- c) keramické kompozity
- d) ostatní anorganické kompozity.

2) Podle struktury či geometrické charakteristiky vložené fáze do matrice:

- a) disperzní kompozity (disperzní zpevněné kovy)
- b) částicové kompozity (partikulární, granulární)
 - s částicemi pravidelných tvarů (koule, destičky)
 - s částicemi nepravidelných tvarů
 - s plynnými inkluzemi (lehčené polymery, pěnobeton)
- c) vláknové kompozity
 - s dlouhými vlákny (obvykle uspořádanými, především skleněná, uhlíková či polymerní) – s jednosměrným vyztužením nebo s dvousměrným vyztužením
 - s krátkými vlákny (obvykle neuspořádanými nebo jen částečně orientovanými, především uhlíková, borová, wolframová či azbestová) – s náhodnou orientací nebo s přednostní orientací.

3) Podle typu výztuže:

a) kompozity partikulové

- s náhodnou orientací
- s přednostní orientací

b) vláknové kompozity

- jednovrstvové
 - dlouhoválnové - s jednosměrným vyztužením
 - s dvousměrným vyztužením
 - krátkoválnové - s náhodnou orientací
 - s přednostní orientací
- mnohovrstvové
 - lamináty
 - hybridy.

4) Podle technologického (výrobního) hlediska.

5) Podle mechanického hlediska.

Jelikož výstupem této diplomové práce bude kovová tkanina, ze které se následně vyrobí vláknový kompozit s kovovou maticí, budou dále popsány pouze tyto dva typy kompozitních systémů (vláknový kompozit a kompozit s kovovou maticí).

1.1.2 VLÁKNOVÉ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY - VÝZTUŽE

Pro vyztužování matrice k vytvoření kompozitu je k dispozici široké spektrum vláken, které je stále rozšiřováno. Vedle přírodních vláken jsou to vlákna kovová a slitinová, whiskery z keramických a metalických materiálů, polykrystalická vlákna z různých keramických materiálů, skleněná a minerální vlákna a vlákna polymerní [2].

Kovová vlákna poskytují možnost vyztužovat polymerní, keramickou a kovovou matici. Připravují se různými metodami (mechanickými, elektronickými, z tekutého kovu, kombinací uvedených metod) [2].

Vyztužení vlákny je využíváno hlavně ke zvýšení pevnosti, modulu pružnosti – tuhosti, únavové životnosti, odolnosti proti tečení, odolnosti proti abrazi a v některých případech i houževnatosti kompozitů [21].

U vláknových kompozitů je hlavním problémem vložení vláken do matrice tak, aby se mechanicky nepoškodila, aby bylo zachováno přesné usměrnění a rovnoměrné rozdělení vláken ve výrobku a aby byla zajištěna soudržnost vláken a matrice [2].

Vlákna se mohou relativně snadno mechanicky porušit při každé manipulaci, a to i prostým dotykem dvou vláken nebo třením, poškrábáním, dotykem náradí atd. Zejména nekovová vlákna jsou citlivá, neboť jejich pevnost velmi závisí na povrchové celistvosti [2].

Aby se zachovaly jejich vlastnosti i v kompozitu, je třeba s nimi zacházet velmi opatrně. Aby se zamezilo povrchové poškození, používá se ponoření vláken do tekuté matrice (taveniny, monomeru). Vložení vláken do kapaliny ale může (především u kovové matrice) přinést další problémy, jako chemická reakce, difúze do vláken a rekrytalizace nebo rychlé oddělování složek z důvodu rozdílné hmotnosti. Proto byla vyvinuta celá řada dalších způsobů tzv. prostorového uspořádání nebo mísení v tuhém stavu, které se osvědčily zejména při přípravě kovových kompozitů. Popis metod je uveden v literatuře [2].

Použitím vyztužujících vláken v kompozitních systémech se zvyšuje především Youngův modul pružnosti v tahu a mez pevnosti v tahu. Vláknové kompozitní materiály také úspěšně odolávají nejen vysokým mechanickým napětím, ale i nepříznivým způsobům zatěžování (například rázové nebo dynamické namáhání). Uvedené chování

je dáno různými způsoby pohlcování a rozptylování energie, která se na mezifázovém rozhraní z velké části spotřebuje na vytahování vláken z matice a trhání [20].

Orientace vyztužení ovlivňuje izotropii systému. Má-li vyztužující částice tvar a rozměr ve všech směrech přibližně stejné, chová se kompozit jako izotropní materiál, jehož vlastnosti jsou nezávislé na směru. Opačný případ nazýváme anizotropní. Na geometrii vyztužení je závislý mechanismus pevnostního chování [18].

Fáze zpevňující matici kompozitu je obvykle spojitá, tvořená částicemi různého druhu a tvaru. Má vysokou pevnost a modul pružnosti [18].

Materiál vlákna má být pevný, tuhý, lehký a má mít vysokou hodnotu poměru R_m/ρ – měrné pevnosti a poměru E/ρ – měrného modulu pružnosti [18]. Vlastnosti vybraných zpevňujících vláken jsou uvedeny v následující tabulce:

Materiál	Modul pružnosti E [GPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Hustota $\rho \cdot 10^3$ [kg/m³]	E/ρ	R_m/ρ
wolfram	350	2500	19,0	9	9
kevlar	120	2750	1,5	1	2
ocel	210	2500	7,8	8	8

Tabulka 1 Vlastnosti vybraných zpevňujících vláken

Vláknové kompozity mají malý průřezový rozměr. Vkládají se do matricových materiálů. Stávají se nejdůležitější třídou kompozitních materiálů, protože jsou schopny dosahovat vysokých pevností [18].

Použití kovových vláken má široké využití v konstrukčních aplikacích. Používají se například ve zvukových tlumičích všeho druhu jako absorpční médium, jako brzdové a kluzné obložení, mechanické a magnetické plnivo ve filtrech, čistící a brusné médium, jako tepelná izolace atd. [21].

1.1.3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY S KOVOVOU MATRICÍ

Zjednodušeně, i když ne zcela přesně, jsou kompozity s kovovou matricí často nazývány kovové kompozity [5].

Kompozity s kovovou matricí jsou určeny pro aplikace, kde pevnost a odolnost slitin kovů proti tečení nepostačuje. Hlavní předností kovových matric (oproti nejčastěji používaným polymerním matricím) je jejich větší pevnost, tuhost a především houževnatost (schopnost plasticky se deformovat). U materiálů s matricí na bázi slitin niklu se vyztužením kovovými vlákny (obvykle wolframu) zvyšuje odolnost proti tečení za vysokých teplot [18].

Kompozitní materiály s kovovou matricí je možno obtížně vyrobit. Není to sice a priori známo, ale je to důvod, proč jejich vývoj postupuje relativně pomalu. Problém záleží v tom, že složky jsou nezbytně nepodobné, a tedy nekompatibilní jedna s druhou, a dále ve způsobu, jak zajistit, aby v jediné struktuře byly na jedné straně zachovány vlastnosti složek, a na druhé straně působily společně (jako celek) při namáhání jakýmkoli zatížením. Je zřejmé, že problém je tím větší, čím více nepodobné jsou složky. Ale proti tomu stojí skutečnost, že čím nepodobnější jsou složky, tím lépe spolupracují v kompozitní struktuře [2].

Jednotlivé složky kompozitního systému musí být vybrány z hlediska žádaných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností, s ohledem na okolní podmínky (prostředí) při využívání. Například pro kompozit pracující za vysokých teplot je třeba volit vlákna, která si udrží vysoké pevnosti i při vysokých teplotách, a matrice s výbornou oxidační odolností. Pro vysokoteplotní aplikace přicházejí v úvahu kovové matrice ze superslitin na bázi Ni, Co a Fe [2].

Výroba kovových kompozitů je založena především na impregnaci vláken, tkanin, slinutých materiálů a pod. infiltrací po ponoření do roztavené matrice, plazmovým stříkáním, nanášením difúzí par, dále na disperzním zpevnění, na vyztužení kovů částicemi nebo krátkými vlákny a pod. [2].

Použití kovové matrice pro kompozit má proti nejčastěji používané polymerní matrici některé výhody, např. elektrickou vodivost, teplotní vodivost, nehořlavost, smykovou pevnost, tvárnost, odolnost obrusu, možnost povlakování, spojování,

tvarování, vyšší tepelnou odolnost, odolnost vlhkému prostředí atd. Proti tomu jsou specifické vlastnosti (pevnost, tuhost) za normálních teplot nižší než u polymerních kompozitů a také výrobní nároky (hl. energetické) jsou podstatně vyšší [2].

Nejrozšířenější z kovových maticí je hliník a jeho slitiny (zejména pro jeho nízkou cenu). Dále jsou to slitiny hořčíku, titanu, niklu, mědi a stříbra [2].

1.1.4 VLASTNOSTI KOVOVÝCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ

Výhody:

- regulovatelná tepelná vodivost
- regulovatelná teplotní roztažnost
- vysoká pevnost a tuhost
- vysoký modul pružnosti
- vysoká chemická stability povrchu
- vysoká elektrická vodivost
- vysoká houževnatost
- nízká citlivost k teplotním změnám – dobré mechanické vlastnosti za tepla
- vysoká odolnost proti hoření
- vysoká radiační odolnost
- možnost hermetického uzavření (např. elektrické přístroje).

Nevýhody:

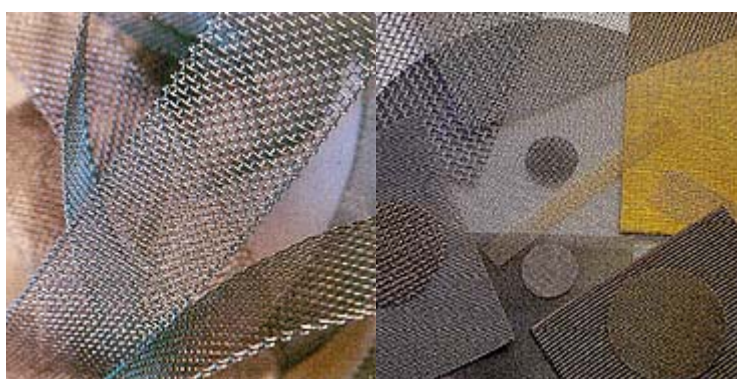
- vysoká hustota
- vysoká cena
- problematická zpracovatelnost některých typů [16].

1.2 KOVOVÉ TKANINY

Textilní kovovýroba má u nás velikou historii, známe ji již od 17. století. V České republice je v současné době asi 13 firem, které vyrábí kovové tkaniny širokého sortimentu. Mezi největší výrobce patří například MDL (Moravské drátovny Libina) nebo ŽBD GROUP Kamenná.

Kovové tkaniny se vyskytují téměř ve všech odvětvích průmyslu a mají široké uplatnění. Používají se hlavně v automobilovém, gumárenském, elektronickém, leteckém, potravinářském a chemickém průmyslu, ve stavebnictví, v laboratořích, zemědělství a v textilním průmyslu, ale mohou sloužit i k dekorativním účelům (např. Tančící dům v Praze, Národní divadlo a pod.).

Tkaniny se liší materiálem a průměrem drátu. Mají osnovu i útek z drátu kruhového průřezu. Obvyklá šíře tkaniny je 1 m, v některých případech až do šíře 2 m, jiné šíře jsou možné na objednávku. Jsou zhotovovány dle norem ČSN 153 110, DIN ISO 9044, DIN ISO 4783, DIN ISO 3310 a W&E norem a jejich výroba je certifikována systémem řízení jakosti dle ČSN ISO 9001:2000. Dle uvedených norem jsou tkaniny vyráběny s vysokým standardem kvality a přesnosti, s konstantní velikostí ok a tloušťkou [6,8,9].



Obrázek 1 Kovové tkaniny

1.2.1 CHARAKTERISTIKY KOVOVÉ TKANINY

Kovová tkanina je výrobek zhotovený na tkacím stroji pro zpracování drátů. Je charakterizována [19]:

- materiálem, případně povrchem drátu
- průměrem osnovního a útkového drátu
- rozměrem a tvarem oka
- volnou plochou
- vazbou.

1.2.1.1 Materiál kovové tkaniny

Materiál je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících užitné, kvalitativní i technologické vlastnosti kovových tkanin. Pro výrobu kovových tkanin se používají většinou dráty kruhového průřezu z různých materiálů, různě tepelně a povrchově upravené. Jsou to například dráty [19]:

- ocelové, pozinkované, pocínované, poměděné
- z nerezavějící oceli
- měděné a mosazné
- bronzové, niklové, hliníkové, chromové
- lakované atd..

1.2.1.2 Průměr drátu

Průměry drátů používaných při výrobě kovových tkanin se pohybují v rozmezích 0,032 – 3,15 mm, s ohledem na materiál. Pro osnovu a útek se u běžných tkanin používají dráty stejného průměru [19].

1.2.1.3 Rozměr a tvar oka

Rozměr oka tkaniny je určen průměrem drátu a potřebnou velikostí volné plochy. Je jednou z nejdůležitějších užitných vlastností kovové tkaniny. Určuje totiž například její třídící či filtrační schopnosti. Podle tvaru se rozeznávají oka [19]:

- čtvercová - nejčastěji
- obdélníková
- kosočtvercová
- šestiúhelníková.

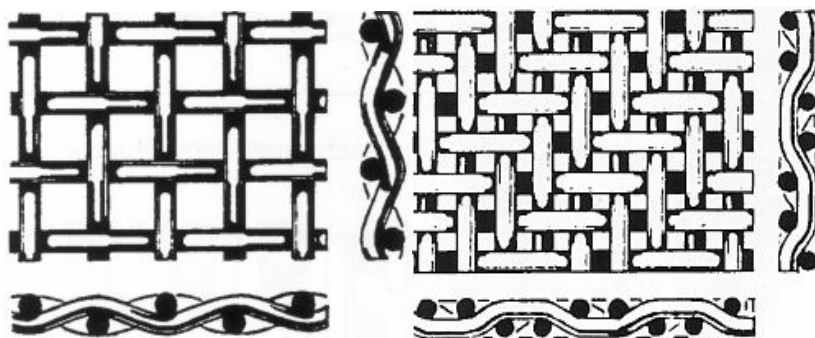
1.2.1.4 Volná plocha tkaniny

U běžných tkanin vyjadřujeme dostavu a zaplnění. U kovových tkanin se udává procento volné plochy, dle (1), které je definováno jako rozdíl celkové plochy tkaniny a plochy vyplněné dráty pro danou plošnou jednotku [6]:

$$F_v = \frac{F_c - F_d}{F_c} \cdot 10^2 [\%] \quad (1)$$

1.2.1.5 Vazby kovových tkanin

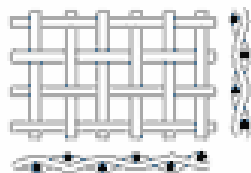
U kovových tkanin je způsob provázání osnovy a útku, tedy vazba tkaniny, zaměřená na použití tkaniny. Nejčastěji se používá vazba plátnová a vazba keprová, spíše výjimečně i vazba atlasová. Moderní technologie dovolují, aby se pro některé druhy tkanin osnova s útkem neprovazovala, ale aby se v místech překřížení dráty svařovaly [6, 19].



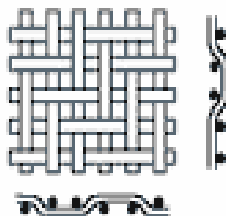
Obrázek 2 a 3 Kovová tkanina se čtvercovými oky v plátnové a keprové vazbě

1.2.1.5.1 Vazby kovových tkanin dle W & E normy

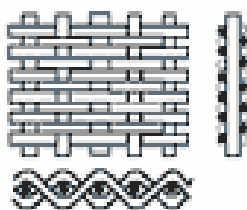
Plátnová vazba - je vyrobená jako konstantně se střídající přes a pod vlákno jdoucí vlákna osnovy a útku. Je to nejvíce známý typ vazby, který umožňuje vysoce přesnou výrobu velikosti tkaniny [9].



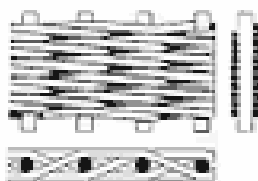
Keprová vazba (speciální typ serpentínový či střídavý kepr) - tato speciální serpentínová nebo střídavá keprová vazba je uvedena pro kompenzaci příčné distorze keprové vazby. U keprové vazby je každé třetí vlákno navázáno. Tato vazba je vhodná zejména tam, kde jsou poptávána malá oka pro relativně silné dráty [9].



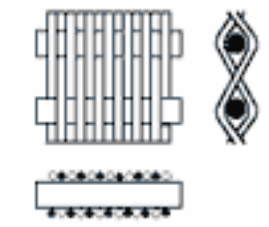
Plátnová holandská vazba - u této vazby jsou vždy vlákna osnovy tlustší než vlákna útku. Vzájemná blízkost vláken útku je důvodem proč se této vazbě říká "uzavřená". Hlavní výhody této vazby spočívají v její dobré kapacitě průtočnosti a jednotným velikostem ok [9].



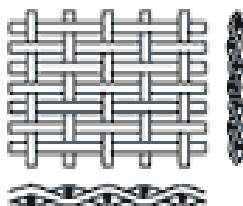
Holandská keprová vazba - v průběhu tkaní jsou vlákna útku silou tlačena k sobě. Každý jeden drátek osnovy je obetkán mnohonásobně vlákny útku. Výhodou této vazby je její hladký povrch a ultra jemné filtrační schopnosti [9].



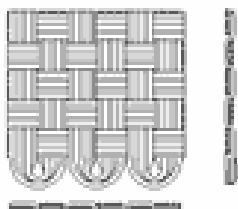
Zesílená holandská vazba - vlákna útku jsou značně silnější než vlákna osnovy. Oproti konvenční holandské vazbě je počet vláken osnovy větší. Tato vazba je také někdy nazývána "zpětnou" holandskou vazbou. Výhodou je vysoká pevnost a vysoká kapacita průtoku [9].



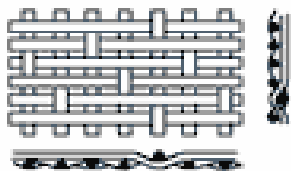
Podélná tkaná vazba (příčná tkaná vazba) – nejběžnější poměr je 1:3. Vazba převrácená proti této se nazývá příčná. Z důvodů pevnosti je osnova a útek rozdílné tloušťky. Používá se pro vibrační síta [9].



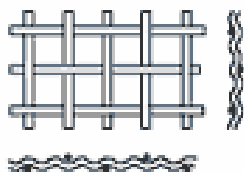
Five shaft twill (5-ti osnovní keprová vazba) - speciální typ vazby pro drenážní filtraci s vysokou průtokovou kapacitou. Každý pátý drátek je vetkán. Výhodou je hladký povrch na jedné straně a snadné a rychlé čištění [9].



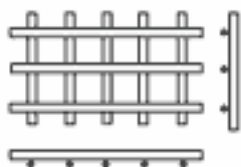
Mnohonásobná vazba - je utkána ze 4 násobného kepru. Osnova a útek sestávají z těsně spojených násobných svazků drátků. Velký počet malých ok činí z této vazby vhodnou tkaninu pro jemnou filtraci [9].



Zvlněná síť (tkanina) - je vyrobená z předtvarovaných (zvlněných) drátů, které jsou použity stejné pro oba směry. Je vhodné pro ochranné bariéry, brány a regálové systémy. Velikost ok je od 6 do 100 mm [9].

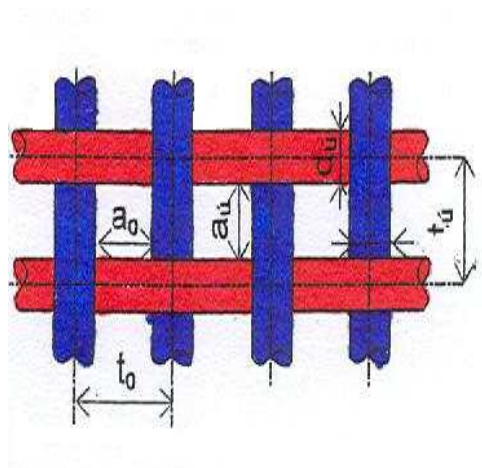


Svařovaná tkanina - je podobná zesíleným tkaninám, horizontální drátky (šířka role) jsou zajištěny k vertikálním drátkům (délka role) pomocí bodových svarů. Velikost ok je od 6 do 100 mm [9].



1.2.2 PARAMETRY KOVOVÉ TKANINY

Základní parametry tkaniny jsou průměr drátu, rozměr ok, vzdálenost drátů (rozteč) a počet ok (počet otvorů ve směru osnovy nebo útku). Rozteč vyjadřuje osovou vzdálenost sousedních drátů jedné soustavy [6].



Obrázek 4 Parametry kovové tkaniny

a_o – rozměr oka ve směru osnovy

a_u – rozměr oka ve směru útku

t_o – rozteč drátu ve směru osnovy

t_u – rozteč drátu ve směru útku

d_u – průměr drátu ve směru útku

d_o – průměr drátu ve směru osnovy

1.2.3 STROJE NA VÝROBU KOVOVÝCH TKANIN

Kovové tkaniny se vyrábějí na tkalcovských strojích bytelnější konstrukce, protože je zde třeba daleko vyššího napětí. Tkají se na [6]:

a) člunkových tkacích strojích

- mají 2 listy pro plátnovou nebo 3 listy pro keprovou vazbu
- pracovní šíře většinou 1 m
- tkací rychlost kolem 60 otáček za minutu
- tkanina má pevné kraje

b) bezčlunkových tkacích strojích – jehlové tkací stroje

- mají poměrně nízký prošlup, aby nedošlo k tečení drátu
- tkací rychlost je kolem 72 otáček za minutu
- kraje tkaniny se zakládají.

Z technologického hlediska nemůžeme jednoznačně zvolit za nejvýhodnější jednu ze dvou používaných technologií pro výrobu kovové tkaniny. Každá z technologií má své kladné i záporné prvky. Výroba kovové tkaniny a její vlastnosti jsou přesně vymezeny. Limitující parametry jsou dány konstrukcí tkaniny, možnostmi výrobního zařízení a vlastnostmi použitých kovových materiálů. Je proto nutné při určování vhodnosti použití tkanin vycházet ze znalostí jejich vlastností. Proto je i nutné před započítáním výroby nové tkaniny posoudit, které prvky jsou pro danou tkaninu důležitější (v závislosti na použití tkaniny), a podle toho zvolit jednu z technologií.

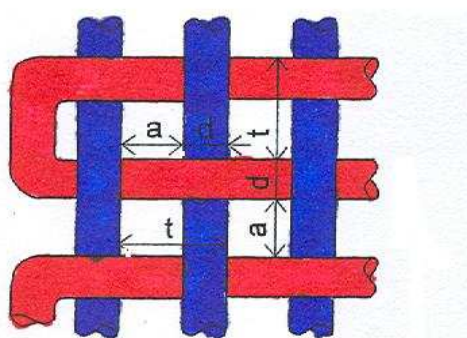
Z ekonomického hlediska „čísla hovoří“ pro jehlové stroje. U tkalcovských strojů jehlových je vyšší skutečný výkon, tím i vyšší výrobnost (otáčky stroje), vyšší produktivita práce (nižší náročnost na obsluhu), nižší zastavěná plocha, ale obrovskou nevýhodou je veliký útkový odpad (pozn. - čím jemnější drátky, tím je útkový odpad větší).

1.2.4 SPECIÁLNÍ KOVOVÉ TKANINY

1.2.4.1 Tkaniny rabicové

Tyto tkaniny se používají hlavně ve stavebnictví, kde slouží jako výztuže lehkých přepážek, výztuže štuk, betonových nádrží atd. Tkají se se čtvercovými nebo obdélníkovými oky ve vazbě plátnové. Vyrábějí se dva typy rabicových tkanin [6,7]:

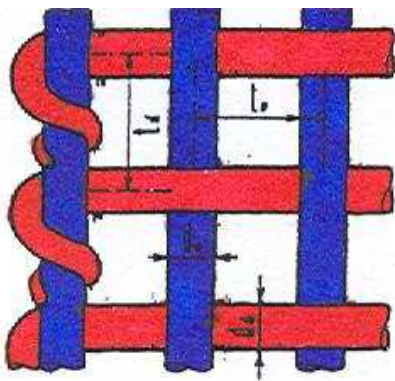
a) se zatkávaným krajem



a - rozměr oka ve směru osnovy a útku
d - průměr drátu ve směru osnovy a útku
t - rozteč drátu ve směru osnovy a útku

Obrázek 5 Rabicová tkanina se zatkávaným krajem

b) se zakrouceným krajem



d - průměr drátu ve směru osnovy a útku
t - rozteč drátu ve směru osnovy a útku

Obrázek 6 Rabicová tkanina se zakrouceným krajem

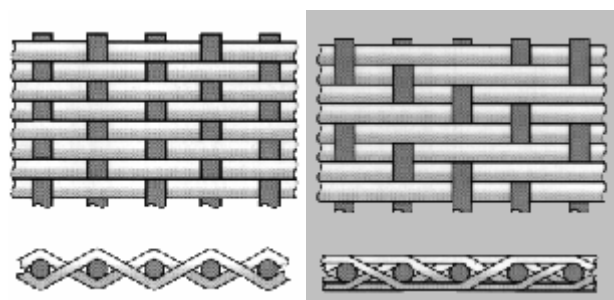
Výchozím materiálem je ocelový drát kruhového průřezu, tažený za studena, s povrchem neupraveným nebo pozinkovaným [6,7].

1.2.4.2 Tkaniny slepě tkané – filtrační

Používají se pro filtraci kapalin, při recyklaci plastů a vyrábějí se z nich filtry pro automobilový a letecký průmysl. Jsou vyráběné v předepsané vazbě tkalcovskou technikou naslepo (na doraz) – útkové dráty jsou přiražené těsně k sobě. Označují se někdy jako tkaniny „bité drát na drát“. Tkaniny se zdají být zcela neprůhledné. Tká se v plátnové nebo keprové vazbě. Běžná šíře je obvykle 1 m. Dráty ve směru útku mají menší průměr než dráty ve směru osnovy. Základním parametrem filtrační tkaniny je propustnost. Propustnost tkaniny je schopnost propustit hmotné částice filtračním otvorem a je definována počtem otvorů na 1 cm [6,7].



Obrázek 7 Řez filtrační tkaninou



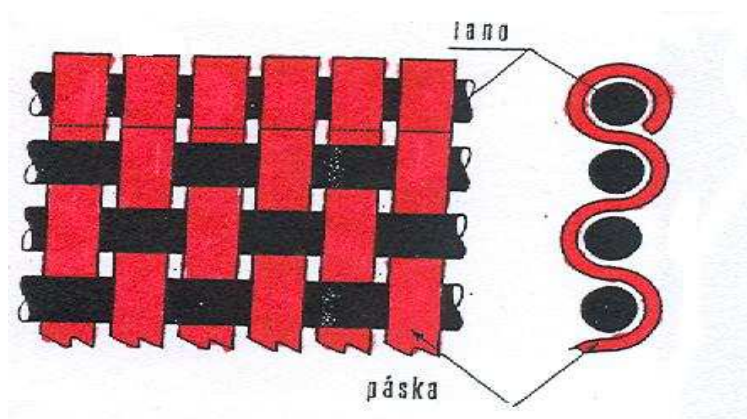
Obrázek 8 a 9 Tkanina filtrační v plátnové a keprové vazbě

1.2.4.3 Loupací tkaniny

Používají se na loupacích strojích na ovoce v konzervárnách. Loupací stroje jsou stroje s bubny s ostrými hranami. Tkají se ve vazbách plátno nebo lomený kepr. Dostava osnovy je velmi hustá, takže útkové dráty se vkládají do prošlupu ručně. Proto se někdy nedaří získat pravidelné provázání, dráty se různě kroutí. Tyto nepravidelnosti zvyšují bříty (ostré hrany) tkanin a tím se zvýší loupací efekt [6].

1.2.4.4 Nekonečné pásy

Používají se v gumárenském průmyslu jako lisovací pásy ve vulkanizačních lisech nebo jako dopravní pásy, při kladení potrubí. Průměr drátu v osnově je stejný jako průměr drátu v útku. Nekonečný pás je složený z podélně uložených ocelových pozinkovaných lanek, které jsou příčně vázány krepovou ocelovou páskou. Osnova (lanko) je z jednoho kusu spirály. Ocelové krepové pásy v útku, jsou na okrajích přehnuté okolo krajového lanka, konce lanek a okraje nekonečného pásu jsou pájené cínem [6].



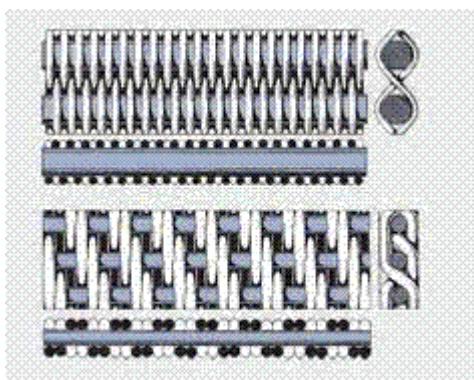
Obrázek 10 Řez nekonečným pásem

1.2.4.5 Závěsné pásy

Slouží k zavěšování, manipulaci a uložení potrubí při stavbách plynovodu, ropovodu a pod. Ocelová lana osnovy jsou navinuté v délce L_i na 2 pouzdra. Osnova musí být navinutá v celku, lanka se nesmí napojovat, protože povrch pásů musí být hladký a rovný. V posledních letech se pro některé účely kombinují v kovových tkaninách dráty s PAD monofilovými vlasci (útek). Dosahuje se tak lepší zpracovatelnosti, snižuje se hmotnost a zvyšuje se poddajnost tkaniny [6].

1.2.4.6 Pancéřové tkaniny

Pancéřová tkanina se používá k recyklaci plastů a pro různé druhy filtrů pro extrémní zařízení. Je to mimořádně stabilní tkanina s velkou odolností proti přetržení a vysokou mechanickou odolností proti namáhání v podélném a příčném směru. Tkanina zajišťuje stejnou jemnost filtrace a má vysokou schopnost filtrace. Má lehkou čistitelnost a obzvláště vysokou průtočnost. Průměry drátů jsou od 0,10 do 0,50 mm, tkají se pouze ve vazbě keprové a šíře tkaniny je max 2 m [7].



Obrázek 11 Pancéřová tkanina

1.2.5 KOVOVÁ TKANINA JAKO VÝZTUŽ KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ

Kovová tkanina, pro své vlastnosti a charakter, má jednoznačnou roli ve vytvořeném kompozitu. Využívá se jí jako vyztužovací armatury, které tvoří kostru kompozitu.

Výztuž by mohla být široce uplatňována ke zlepšení vlastností matricových materiálů, např. pro úpravu tepelné a elektrické vodivosti, zlepšení chování při zvýšených teplotách, zvýšení odolnosti proti opotřebení a oděru.

Kostra je zalita matricí. Volba určité kombinace závisí na žádaných konečných vlastnostech. Tímto kovová tkanina zvyšuje pevnost i odolnost výsledného kompozitu, proto se používá jako součást kompozitů tam, kde je nutné zajistit větší pevnost.

Zatímco textilie pro oděvní účely musí splňovat řadu požadavků, u kovové tkaniny pro kompozitní materiály se zdůrazňuje především vysoká funkčnost. Předpokladem jejího dosažení je použití „vláken“ s tzv. vysokými užitnými vlastnostmi, ale také správná konstrukce tkaniny a kompozitního materiálu.

Nové kompozitní materiály umožňují pronikání tkanin do oblastí, kde jejich použití nebývalo zcela běžné. Na druhé straně jsou tyto kompozity schopny splňovat nejvyšší nároky na funkčnost.

Moderní kompozity se používají v aplikacích, kde je požadována kombinace vysoké pevnosti, tuhosti a nízké hustoty. Je to zejména v leteckém a raketovém průmyslu, v kosmických konstrukcích, v automobilovém průmyslu, v konstrukci lodí, ve výrobě sportovních potřeb apod.

V poslední době je veliký zájem o materiály s vysokou teplotní odolností a vysokou pevností, a to zejména o výztuže z wolframu. Proto se práce dále zabývá vlastnostmi a charakteristikami wolframu.

1.3 WOLFRAM

Wolfram byl objeven roku 1781 švédským chemikem Wilhelmem Scheelem. Izolován byl až v roce 1783. Izolovali ho Juan D'Elhuayar, Jose D'Elhuayar a Fausto D'Elhuayar [10,17].

1.3.1 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI WOLFRAMU

Wolfram, chemická značka W, latinsky Wolframium, je ocelově šedý, až stříbřitě bílý, velmi těžký, dosti tvrdý, a mimořádně obtížně tavitelný kov. Jeho bod tavení je nejvyšší ze všech kovových prvků. Významná je i jeho vysoká hustota, pouze některé drahé kovy jako například zlato, platina, iridium a osmium jsou těžší [10,17].

Chemicky je kovový wolfram velmi stálý – je zcela netečný k působení vody a atmosférických plynů a odolává působení většiny běžných minerálních kyselin. S kyslíkem a halogeny reaguje až za značně vysokých teplot. Pro jeho rozpouštění je nejúčinnější směs kyseliny dusičné a kyseliny fluorovodíkové. Nejsnáze se kovový wolfram rozkládá alkalickým tavením např. se směsí dusičnanu draselného a hydroxidu sodného. Ve sloučeninách se vyskytuje v řadě různých mocností od W^{II+} a po W^{VI+} , z nichž sloučeniny W^{VI+} jsou nejstálější a nejvíce prakticky využívané [10,17].



Obrázek 12 Minerál wolframit

Název, symbol	Wolfram, W	Molybden, Mo
Chemická série, skupina	Kovy přechodu, 6 (VIB)	Kovy přechodu, 6 (VIB)
Stav	Pevná látka	Pevná látka
Atomové číslo, atomová hmotnost	74, 183.85	42, 95.94
Hustota	19.25 g/cm ³	10.28 g/cm ³
Molární objem	9.47 cm ³	9.38 cm ³
Rychlost zvuku	5174 m*s ⁻¹	6190 m*s ⁻¹
Youngův modul pružnosti	411 GPa	329 GPa
Tvrdost	7.5	5.5
Teplota tání	3422°C	2623°C
Teplota varu	5555°C	4639°C
Elektrická vodivost	18.9*10 ⁶ /m ohm	18.7 10 ⁶ /m ohm
Tepelná vodivost	174 W/mK	139 W/mK
Odrazivost	62 %	58 %
Elektronegativita (Pauling)	2.36	1.8

Tabulka 2 Porovnání vybraných vlastností wolframu a molybdenu

V Tab. 2 je znázorněno porovnání vybraných vlastností wolframu a molybdenu. Molybden je kov stejné skupiny prvků jako wolfram. Molybden je na vzduchu za normální teploty stálý, stejně tak je odolný i vůči působení vody. S vodíkem nereaguje a nevytváří žádné hydridy. Vůči působení minerálních kyselin je poměrně stálý, stejně tak je odolný vůči roztokům alkalických hydroxidů. Poměrně snadno se rozpouští v kyselině chlorovodíkové.

V porovnání s Molybdenem má Wolfram vyšší hustotu, vyšší Youngův modul pružnosti, je tvrdší, má vyšší teplotu tání i teplotu varu, téměř stejnou elektrickou vodivost, vyšší tepelnou vodivost, nepatrně vyšší odrazivost a větší elektronegativitu [10, 11, 17].

Především díky tomu, že wolfram má nejvyšší bod tavení ze všech kovů, byl právě tento kov vybrán pro tkaní kovové tkaniny do této práce. Z této utkané kovové tkaniny bude vyroben kompozit s kovovou výztuží a kovovou maticí. Maticí bude měď (teplota tání 1 084,62 °C). Kompozit bude použit v mikroelektronice a bude mít tu důležitou vlastnost, že bude mít rozměrovou stabilitu při změnách teploty, bude mít vysokou tepelnou vodivost a vysoký modul pružnosti.

1.3.2 RUDY A VÝSKYT

Wolfram je na Zemi poměrně vzácný, jeho obsah se odhaduje na 1,5 – 34 mg/kg v zemské kůře. I v mořské vodě se wolfram nachází pouze v koncentraci 0,0001 mg/l. Ve vesmíru připadá jeden atom wolframu na 300 miliard atomů vodíku [10,11,12].

Hlavními rudami jsou wolframit – podvojný wolfram, železnato-manganatý s proměnlivým obsahem obou kovů, scheelit – wolfram vápenatý a stolzit – wolfram olovnatý. Obě rudy se vyskytují dosti vzácně a jen na málo místech zemského povrchu, často ve spojení s rudami cínovými [10,11,12].

Největší ložiska v Evropě jsou v Rusku, Velké Británii, Portugalsku a Španělsku. U nás se vyskytuje wolframit v nepatrném množství s cínovcem v Krušných horách. Větší ložiska wolframových rud jsou dále v Malajsii, Číně, Korei, Usa, Kanadě, Bolívii, Brazílii a v Austrálii. Zásoby wolframu v rudách se odhadují ve světě na 1,25 mil. tun kovu [10,11,12].

1.3.3 VÝROBA WOLFRAMU

Vytěžené rudniny jsou velmi chudé, obsahují většinou méně než 2 % kysličníku wolframového, výjimečně 3 % i více. Proto se rudnina musí před zhutňováním obohacovat na koncentráty, které obsahují 60 až 70 %, výjimečně až 75 % WO_3 . Obohacuje se podle měrné hmotnosti na splavech, flotací nebo magnetickým

rozdružováním. Takto získaný wolframový koncentrát se ještě buď praží (odstraní se síra a arzén), nebo louhuje kyselinou sírovou (odstraní se fosfor) [12].

Největší část vytěžené rudniny se spotřebuje na výrobu ferowolframu nebo sloučenin wolframu vhodných k legování oceli. Ferowolfram se vyrábí elektrotermicky nebo aluminotermicky přímo z wolframového koncentrátu. K výrobě kovového wolframu je nutná čistá kyselina wolframová, ze které se vyrábí redukcí wolframový prášek [12].

Čistá kyselina wolframová nebo kysličník wolframový se připraví buď alkalickým vyluhováním koncentrovaným louhem sodným za varu, anebo tavením wolframitu se sodou při teplotě 800 až 900°C. Materiál se vyluhuje horkou vodou, přičemž přejde wolfram sodný do roztoku. Železo a mangan zůstanou jako nerozpustné kysličníky, které se odfiltrují. Z nasyceného roztoku wolfram sodný vykristaluje nebo se po filtraci při teplotě 80°C vypouští do nádoby s vroucím roztokem koncentrované kyseliny solné. Tím vznikne žlutá sraženina kyseliny wolframové, která se filtruje a propírá vodou s přísadou kyseliny dusičné. Scheelit se rozkládá koncentrovanou kyselinou solnou. Vzniká nerozpustná kyselina wolframová a chlorid vápenatý, který se odstraní dekantací. Sedlina se promývá několikrát vodou s přísadou kyseliny dusičné, odfiltruje se a suší [12].

V obou případech není kyselina wolframová dostatečně čistá, neboť obsahuje železo, alkálie a křemík. Rafinuje se překrystalováním z amoniákalného roztoku přes parawolfram amonný, z něhož se získá kyselina wolframová kyselinou solnou nebo zahříváním na teplotu 250°C, kdy čpavek vytěká a zbývá kyselina wolframová, ze které se dalším zahříváním získá čistý kysličník wolframový [12].

Redukce kysličníku wolframového na práškový wolfram probíhá dvěma způsoby: uhlíkem nebo vodíkem. Uhlíkem se kysličník wolframový redukuje v grafitových kelímcích, které se plní suchou směsí kysličníku wolframového se 14 % sazí a malým množstvím kalafuny a zahřívají se 8 hodin na teplotu 1300 až 1400 °C . Získaný wolfram obsahuje kyslík, uhlík a křemík, uplatňuje se hl. v ocelářství. Redukcí vodíkem se získá kov s 99,6 až 99,8 % wolframu [12].

Redukce probíhá v peci, v níž jsou zabudovány trubky z nerezavějící oceli. Trubkami proudí vodík. Do trubky se vsunou niklové lodičky naplněné kysličníkem wolframovým, které postupují do pásna nejvyšší teploty proti směru proudění vodíku.

Redukce probíhá ve 2 stupních. Při teplotě 500 - 700°C se WO_3 se redukuje na WO_2 . Ten se proseje a vrací se do pece, kde se zahřeje na teplotu 1000 – 1100°C, přičemž se redukuje na kov. Wolfram se získá v podobě jemného, temně šedého prášku, který se slinuje, a tím se převede do kompaktního stavu. Prach se slisuje do tvaru hranolků rozměrů asi 10x10 mm, čímž se částečně ztuží. Pak následuje vlastní spékání v proudu vodíku, při teplotě až 3200°C, přímo odporovým teplem hranolku upevněného mezi dvěma čelistmi [10].

Slinutý wolfram je velmi tvrdý, ale křehký, za normální teploty špatně tvářitelný. Hranolek se tváří v rotačním kovacím stroji za vysokých teplot. Postupně se zmenšuje jeho průřez, až se získá drát o průměru 1 mm, který je již houževnatý a dá se za tepla táhnout diamantovým průvlakem až na průměr 0,01 mm [12].

V Japonsku se vyrábí wolfram z práškového WO_3 nebo parawolframu amonného redukcí zinkovým prachem. Směs se ohřívá v redukční atmosféře (H_2 , CH_4 , CO) na 800°C, směs se pak louží v kyselině solné, čímž se získá velmi čistý wolfram [12].

1.3.4 SLOUČENINY WOLFRAMU

Wolfram tvoří celou řadu sloučenin, u nichž nejstálější vykazují oxidační číslo VI+. Ve sloučeninách může mít dále oxidační číslo II+, III+, IV+, V+. Praktický význam nalézají jeho sloučeniny při přípravě katalyzátorů pro petrochemický průmysl, při výrobě různých barevných pigmentů a teplotně odolných lubrikantů a maziv (sulfidy wolframu). Z oxidů wolframu jsou známy oxid wolframový WO_3 a oxid wolframičitý WO_2 . Další významnou sloučeninou wolframu je kyselina wolframová, H_2WO_4 . Tvoří buď jednoduché soli, wolframany, ale i celou řadu značně složitých komplexních sloučenin. Technicky důležitými sloučeninami wolframu jsou karbidy o složení WC a W_2C . Vyznačují se mimořádnou tvrdostí a využívají se jako součásti brusiv pro kovoobrábění a geologické aplikace [10].

1.3.5 BIOLOGICKÝ VÝZNAM WOLFRAMU

Díky velmi nízké rozpustnosti wolframu ve vodě je jeho obsah v živých organismech velmi nízký a wolfram rozhodně nepatří mezi biogenní prvky, jejichž nedostatek ve stravě výrazně ovlivňuje fyziologický stav organismu [10].

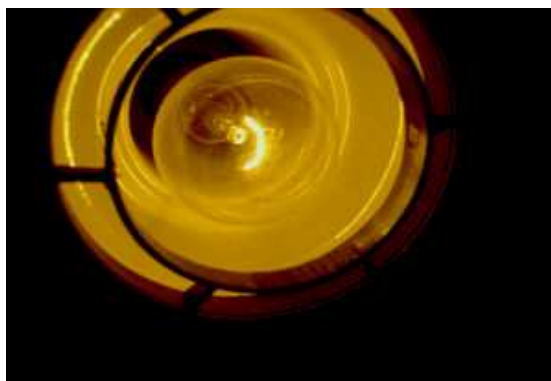
Předpokládá se, že wolfram obsažený v tkáních živých organismů se chová podobně jako molybden. Je například potvrzena jeho role v enzymatickém systému oxidoreduktázy. Zároveň nejsou známy případy, kdy by přebytek wolframu v životním prostředí dlouhodobě negativně ovlivňoval lidské zdraví [10].

1.3.6 POUŽITÍ WOLFRAMU A JEHO SLITIN

Wolfram je kov s širokým rozsahem použití. V praxi se používá jak v čistém stavu, tak i v podobě různých slitin a sloučenin. Hlavní uplatnění nabízí jako složka různých slitin, v čisté formě se s ním běžně setkáme jako s materiálem pro výrobu žárovkových vláken, kde je schopen po tisíce pracovních hodin snášet teploty značně přes 1000°C. Napětí wolframových par je nepatrné, a proto je možno wolframové vlákno zahřát ve vakuu nad 2000°C, v prostředí čistého dusíku nebo argonu na teplotu 200 až 300°C. Dále se používá čistého wolframu na elektrody obloukových lamp, na antikatomy rentgenových lamp, na elektrické kontakty, na elektrody zapalovacích svíček, na termoelektrické články při měření teplot vyšších než 2000°C, a na topné odpory elektrických laboratorních pecí pro teploty až do 2500°C. Vysoká hustota kovového wolframu jej předurčuje jako materiál pro výrobu různých závaží. Díky vysoké pevnosti a tvrdosti slouží jako materiál tzv. penetračních projektilů [10,11,12].

Ve světovém měřítku se dělí spotřeba wolframu takto: 38 % na výrobu legovaných ocelí, 25 % na výrobu slinutých karbidů, 9 % na výrobu litých karbidů, 14 % na výrobu polotovarů z čistého wolframu a wolframových slitin, 14 % na jiné účely [12].

Wolfram se dá pro svou vysokou teplotu tavení legovat jen omezeně a většinou tvoří jen přísadu jiných slitin, např. s molybdenem. Je nepostradatelnou legovací přísadou v ocelích rychlořezných (obsahují až 18 % wolframu) nebo magnetových. S uhlíkem tvoří wolfram karbidy s teplotou tavení od 2700 do 2800°C, jsou to tzv. slinuté karbidy, které se označují různými názvy, jako widia, diadur aj. Vyrábějí se práškovou metalurgií [10,12].



Obrázek 13 Rozžhavené wolframové žárovkové vlákno

V rámci zjišťování informací o dané problematice bylo zjištěno, že v současné době již existuje firma DINXPERLO v Holandsku, zabývající se výrobou kovové tkaniny přímo z wolframu. Firma byla kontaktována, ale nemá zájem dále rozšiřovat svojí vysoce vyspělou a po několik let budovanou technologii a vytvářet si tak konkurenci. Proto se pro doplnění přikládá odkaz na danou firmu, která má zkušenosti s touto problematikou: <http://www.wireweaving.com/> [cit.2008-04-28].

1.4 PATENTY

Pro úplnost je diplomová práce doplněna patenty, které se týkají použití wolframu a wolframových tkanin. Tato část je pojmuta pouze jako přehled vybraných patentů týkajících se popisované problematiky.

Americký patentní úřad:

- US Patent: 3549413.

Název: Výztužná vlákna ve formě pokovených wolframových drátků.

Odkaz: <http://www.google.com/patents?id=5zBhAAAAEBAJ&dq=REINFORCEMENT+from+tungsten> [cit.2008-04-28].

Obsah: Vláknové materiály, které mají vysokou pevnost a nízkou hustotu, se uplatňují po začlenění do kompozitních struktur jako výztuž. Ta je vytvořená z jemného wolframového drátu, který je pokoven borovými silicemi, karbidy křemíku, nitridy titanu nebo boridy hliníku. Pokovený drát má průměr nejméně čtyřnásobný, oproti průměru drátu samotného. S pokovením představuje přinejmenším 93 % z plochy příčného řezu. To má za následek nízkou hustotu a vysoké pružnosti materiálu.

- US Patent: 5195675.

Název: Metoda výroby kompozitní trubice.

Odkaz: <http://www.google.com/patents?id=QjcnAAAAEBAJ&dq=tungsten+as+reinforcement> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Způsob výroby kompozitní trubice, která je vhodná pro použití ve vysokých teplotách. Výztužný materiál je vybrán ze skupiny molybdenu, wolframu a tantalu.

- US Patent: 7232473.

Název: Kompozitní materiál obsahující wolfram a bronz.

Odkaz: <http://www.patentstorm.us/patents/7232473.html> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Kompozitní materiály s vysokou hustotou, které obsahují wolfram a bronz jsou vhodné při výrobě střeliva, vah a dalších vysoce hustých předmětů. V podstatě jde o kompozit složený z kapalně fáze slinutých částic wolframu v měděno/cínové matrici. Obsah wolframu v kompozitu je od 40 do 85 %.

- US Patent: 6815066.

Název: Kompozitní materiál obsahující wolfram, cín a organickou přísadu.

Odkaz: <http://www.patentstorm.us/patents/6815066.html> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Kompozitní materiál pro použití jako vhodná náhrada, který obsahuje vysoce hustý kov jako je wolfram, méně hustý kov, jako je cín a organickou přísadu (polyfluorinat uhlovodíku). Kompozit je zvláště užitečný při výrobě střeliva.

- US Patent: 6740260.

Název: Kompozit z Wolframového prekursoru.

Odkaz: <http://www.patentstorm.us/patents/6740260.html> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Kompozit má polymerní matrici a wolframový prekursor. Wolframový prekursor může být oxid wolframu, parawolfram, metawolfram nebo další prekursor nebo kombinace wolframových prekursorů. Polymerem může být jakýkoliv materiál z širokého okruhu materiálu či kombinací materiálů. Případně může být i pojivo, sekundární náplň či třetí součást. Použitím různých wolframových prekursorů, polymerů a třetích součástí může být u hotových výrobků dosaženo požadovaných vlastností (fyzikálních, elektrických). Z kompozitu mohou být vyrobeny clony proti záření, izolace a kombinace stínění proti záření/izolace.

- US Patent: 6103392.

Název: W-Cu kompozit.

Odkaz: <http://www.patentstorm.us/patents/6103392.html> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Vysoce výkonný W-Cu kompozit je složený z jednotlivých částíček wolframové fáze a měděné fáze, kde wolframová fáze podstatně zapouzdří měděnou fázi. Kompozit z wolframu pokrytého mědí může být stlačený a slinutý do W-Cu pseudosměsy, která má homogenní distribuci W a Cu fáze. Kompozit může být použit v elektrotechnickém průmyslu.

- US Patent: 5842108.

Název: Mechanicko-chemické procesy pro výrobu vysoce hustých a ultrajemných W/Cu kompozitních materiálů.

Odkaz: <http://www.patentstorm.us/patents/5842108.html> [cit. 2008-04-28].

Obsah: Metoda výroby vysoce hustých a ultrajemných W/Cu kompaktních materiálů v důsledku mechanicko-chemických procesů. V této metodě jsou rozprašovány kovové soli (jako startovní materiály) na připravený W-Cu prekurzorový prach, který má rovnoměrně rozptýlený wolframové a měděné složky. W-Cu prekurzorový prach střídavě podléhá odsolování a drcení.

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro efektivní využití kompozitů a vývoj nových kompozitních systémů je nezbytné důkladně se zabývat jejich strukturou a vlastnostmi, které jsou úzce spjaty s použitým vyztužujícím materiálem. Vyztužující složkou v tomto případě jsou kovová vlákna, konkrétně kovová tkanina.

Tato diplomová práce je věnována především rozboru mechanických vlastností wolframových drátků. I když základní informace o pevnosti a modulu pružnosti poskytují výrobci, tyto informace nepostačují, pokud chceme wolframové drátky dále zpracovávat textilními technologiemi. Potřebujeme totiž dokonale znát pravděpodobnost porušení vláken při různých délkách namáhání. Vzhledem k tomu, že pevnost a další mechanické vlastnosti wolframových drátků souvisejí i s jeho povrchem, byl studován právě i povrch drátku a jeho narušení během výroby tkaniny.

Úlohou experimentální části tedy bylo:

- zjištění vybraných charakteristik w – drátků, a to:
 - povrchu w-drátků
 - příčného řezu w-drátků
 - pevnosti a tažnosti v tahu
 - pevnosti a tažnosti v uzlu
 - pevnosti ve smyčce
 - cyklického namáhání
 - pro doplnění zjištění průměru a jemnosti drátků
- stanovit výrobní předpis kovové tkaniny z w-drátků, včetně nákladů na výrobu
- kovovou tkaninu utkat
- zjištění vybraných charakteristik kovové tkaniny, a to:
 - adheze kovové tkaniny

Pro experimentální část byly použity wolframové drátky o průměru 50 μm a 100 μm a utkaná kovová tkanina z těchto drátků.

Pro statistické zpracování naměřených a zjištěných dat v experimentální části byla použita minimální statistika. V případě, že můžeme předpokládat normální rozdělení výsledků přímých měření veličin x , počítáme průměr naměřených hodnot, směrodatnou odchylku, rozptyl, variační koeficient a interval spolehlivosti dle následujících vztahů:

Průměrná hodnota

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad [\text{rozměr}]$$

Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad [\text{rozměr}^2]$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad [\text{rozměr}]$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 10^2 \quad [\%]$$

Interval spolehlivosti

$$IS = \bar{X} \pm t_{\alpha}(n-1) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad [\text{rozměr}]$$

2.1 ZJIŠTĚNÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK W – DRÁTKŮ

Zjišťované charakteristiky w – drátků byly vesměs mechanické. Mechanické vlastnosti popisují schopnost materiálu měnit tvar. Všeobecně se vlastnosti materiálů zkoumají tak, že se působí za definovaných podmínek vnějším podmětem na vzorek definovaných rozměrů. Dochází k měření odezvy odpovídajícímu danému podnětu. Dále budou popsány pouze použité charakteristiky.

Modul v tahu

Modul je charakterizován jako odpor materiálu proti deformaci. V každém bodě křivky je dán vztahem (2), pro přepočet platí vztahy (3) a (4):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa] \quad (2)$$

$$E[MPa] = \frac{E[MPa] \cdot 4}{\pi \cdot d^2 [mm]} \quad (3)$$

$$E[MPa] = \frac{4 \cdot F[N]}{\pi \cdot d^2 [\mu m] \cdot 10^{-12} \cdot A[mm] \cdot 10^{-2}} \quad (4)$$

Modul je uváděn v souvislosti s pevností v tahu. Působíme-li na vlákno na trhacím přístroji axiální silou, která nepřesahuje jeho pevnost v tahu, vrátí se nepřetržené vlákno do původního stavu.

Pevnost v tahu

Při zkoušení mechanických vlastností jde především o zjištění mezní pevnosti. Vlákno je v těchto zkouškách zatěžováno až do destrukce – přetržení.

Pevnost v tahu je definována jako mezní napětí do přetrhu a je to maximální síla potřebná k přetržení vzorku.

$$F[MPa] = \frac{F[N] \cdot 4}{\pi \cdot d^2 [mm]} \quad (5)$$

Napětí a poměrná pevnost

Pod pojmem napětí rozumíme absolutní sílu, která je přepočítána na plochu průřezu vzorku. Ta je však obtížně stanovitelná, a proto se přepočítává absolutní síla F [N] na jemnost vzorku T [tex]. Poměr mezi silou do přetrhu a jemností vzorku je nazýván poměrnou pevností f [N/tex]. Napětí, resp. poměrná pevnost do přetrhu vzorku je nazývána pevností v tahu.

$$f = \frac{F[N]}{T[tex]} [N / tex] \quad (6)$$

Křehkost vláken

S pevností v tahu je spojena křehkost vláken. Vlákná s vysokou pevností bývají velmi křehká. To platí i pro wolfram.

Pro zjištění je vyvinuto několik metod, mezi nejpoužívanějšími jsou stanovení pevnosti ve smyčce a stanovení pevnosti v uzlu.

$$Fr = \frac{D[\mu m]}{d[\mu m]} [1] \quad (7)$$

Pružnost

Pružností, resp. počátečním modulem, rozumíme schopnost návratu některých pevných látek po deformaci do původního stavu. Pružnost vláken závisí na složení, ze kterého byla vlákna vyrobena. Konstantu charakterizující pružnost určité hmoty nazýváme Youngovým modulem pružnosti a vyjadřujeme jej v jednotkách MPa, GPa.

Tažnost

Tažnost je definována jako největší možná deformace, které je dosaženo při přetrhu vlákna.

$$A[\%] = \frac{A[mm]}{l_0} \cdot 100 \quad (8)$$

2.1.1 URČENÍ PRŮMĚRU DRÁTKŮ

Pro stanovení pevnosti v tahu a mikrozkušek (smyčkový test) je nutné provést doplňující měření pro zjištění skutečného průměru drátků. Výrobce w-drátků sice udává průměry (50 a 100 μm), ale většina výrobců neudává pravdivé a přesné hodnoty. Z důvodu ověření bylo provedeno následující měření.

Zjištění průměru drátků bylo provedeno na Lanametu v rámci zjišťování křehkosti – pevnosti ve smyčce. Měření průměru na Lanametu je zatíženo nepřesností a individuální chybou, drátek je pozorován pouhým okem.

Podstata zkoušky

Na stupnici Lanametu se odečte průměr vlákna.

Postup měření

Na podložní sklíčko byla nanесena kapka glycerinu a na něj umístěn drátek a zatížen krycím sklíčkem. Připravený preparát byl umístěn na pracovní stolek projekčního mikroskopu LANAMETR MP3. Měření bylo provedeno při použití objektivu zvětšujícího 10x. Na stupnici s milimetrovým měřítkem byl odečten průměr drátku. Při použitém objektivu odpovídal 1 mm (1 dílek) na matnici 4 μm . Hodnoty průměrů drátků jsou v následující tabulce:

	Drátek průměru 50 μm		Drátek průměru 100 μm	
i	dílky	d [μm]	dílky	d [μm]
1	13	52	28	112
2	13	52	28	112
3	13	52	28	112
4	13	52	28	112
5	13	52	28	112
Σ	65	260	140	560
\bar{d}	13	52	28	112
S	0	0	0	0
v	0	0	0	0
IS	13	52	28	112

Tabulka 3 Naměřené a vypočítané hodnoty průměrů drátků

2.1.2 URČENÍ JEMNOSTI DRÁTKŮ

U drátků se sice místo jemnosti udává průměr drátu, pro přepočet některých vztahů je ale nutno ji znát.

Jemnost je podle normy nazývána délkovou hmotností, definovanou poměrem mezi délkou a hmotností. Jednotkou je [tex]. Vypočítá se dle vztahu (9):

$$T[\text{tex}] = \frac{m[\text{g}]}{l[\text{km}]} \quad (9)$$

Podstata zkoušky - stanovení jemnosti gravimetrickou metodou

Metoda spočívá v přesném odměření délky drátku a jeho přesném zvážení.

Postup zkoušky

Na vijáku se připravilo 10 přadének po 1 m. Přadénka se zvážila na elektronických vahách a hmotnost se přepočítala podle vztahu (9) na jemnost. Průměrné hodnoty jemností drátků jsou uvedeny v následující tabulce:

	Drátek průměru 50 μm		Drátek průměru 100 μm	
i	m [g]	Ti [tex]	m [g]	Ti [tex]
1	0,037	37	0,159	159
2	0,037	37	0,159	159
3	0,037	37	0,159	159
4	0,037	37	0,159	159
5	0,037	37	0,159	159
Σ	0,185	185	0,795	795
\bar{T}	0,037	37	0,159	159
S	0	0	0	0
v	0	0	0	0
IS	0,037	37	0,159	159

Tabulka 4 Naměřené a vypočítané hodnoty

Jemnost vláken (drátků) lze také vypočítat teoreticky, odvozením ze vzorce pro průměrem příze (10):

$$d[\mu m] = \sqrt{\frac{4 \cdot T[te x]}{\pi \cdot \rho[kg / m^3]}} \quad (10)$$

Odvozením jemnosti ze vzorce pro výpočet průměru dostaneme tedy vzorec pro výpočet teoretické jemnosti (11):

$$T[te x] = \frac{d^2[mm] \cdot \pi \cdot \rho[kg / m^3]}{4} \quad (11)$$

Dosadíme-li do vzorce (11), vyjde nám jemnost drátků průměru 50 μm $T = 37,797 \text{ tex}$ a jemnost drátku průměru 100 μm $T = 151,189 \text{ tex}$.

Porovnáme-li naměřené hodnoty jemnosti, tedy skutečné, s hodnotami teoretickými, tedy vypočtenými, jsou téměř totožné. Menší nepřesnosti mohou být způsobeny zpracováním. Měření jemnosti u drátku průměru 100 μm bylo totiž provedeno již s drátky přesoukanými. Jakmile wolframový drátek jakýmkoliv způsobem zpracováváme, dojde k trvalému protažení drátku z důvodu trvalé deformace a to vede ke změně (zmenšení) průměru drátku. Menší průměr drátku je pak tedy lehčí, což způsobuje nepřesnosti v porovnání teoretické hodnoty se skutečnou.

2.1.3 POVRCH W-DRÁTKU – PODÉLNÝ POHLED

Zjišťování povrchu drátku bylo prováděno na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA (obrázek 14), který je plně řízen počítačem. Je určen k pozorování povrchů při velkém zvětšení s velkou rozlišovací schopností, k zaznamenávání a archivování obrázků ve standardním obrazovém formátu na počítačová záznamová média.

Obrázky pak mohou být vytištěny nebo předány k dalšímu počítačovému zpracování a obrazové analýze. Program používá rozlišení 512x512 pixelů (obrazových bodů) na zobrazení obrazu. Jeho maximální rozlišovací schopnost je 4 nm.

Systém VEGA se skládá ze čtyř základních částí:

- fyzikální části
- elektroniky
- počítače
- softwaru

Ve fyzikální části mikroskopu vzniká obraz povrchu vzorku a další užitečné signály. Vzorek je umístěn v komoře mikroskopu, kde může být polohován pomocí manipulátoru. Fyzikální část se skládá z tubusu, komory s manipulátorem a detektory a vakuového systému.

Počítač je řídicí jednotkou celého mikroskopického systému. K řízení mikroskopu a zpracování získaných výsledků se provádí pomocí standardního osobního počítače.

Software slouží k ovládání všech funkcí mikroskopu, k řízení akvizice obrazu, k jeho zpracování a vyhodnocování. Řídicím a vyhodnocovacím programem je 32bitová aplikace v operačním systému Windows 98 TM.

Pro rastrovací elektronovou mikroskopii je charakteristická jednoduchá příprava vzorku, ale naopak složité pracovní zařízení.

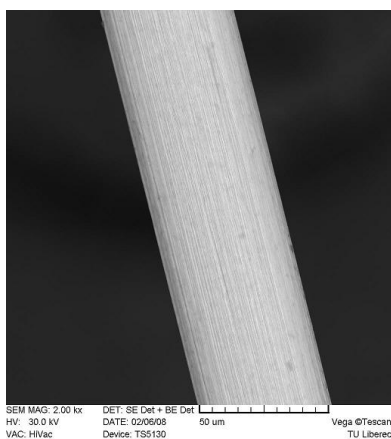
Základní funkcí mikroskopu je získání zvětšeného obrazu daného zkoumaného vzorku. Primární paprsek se pohybuje po preparátu po řádcích (tzv. rastrování) a vyrazí sekundární elektrony, které jsou snímány detektorem, převáděny na videosignál a zobrazeny na monitoru počítače řídicím programem [22].



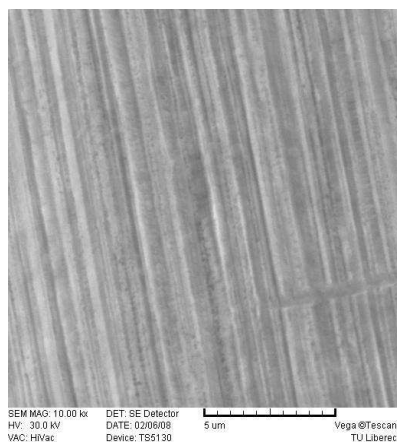
Obrázek 14 Elektronový rastrovací mikroskop

Nasnímané snímky povrchů drátků jsou na následujících obrázcích. Snímány byly povrchy drátků, které byly použity při tkaní kovové tkaniny. Drátky byly wolframové a to o průměru 100 μm a 50 μm . Drátek průměru 50 μm byl použit do útku, drátek průměru 100 μm byl použit do osnovy. Osnova se musela nejdříve přesoukat, na potřebný počet cívek a útek byl odtahován přímo z cívek, které byly obdrženy přímo od výrobce. Na nasnímaných obrázcích jsou tedy povrchy drátku 50 μm , drátku 100 μm a drátku 100 μm po přesoukání.

zv. 2000x

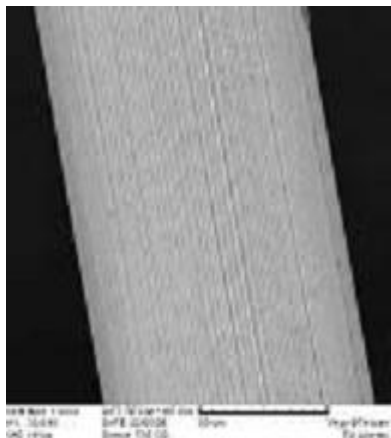


zv. 10000x

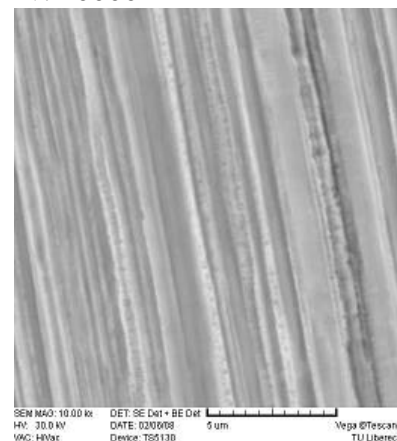


Obrázek 15 a 16 Povrch a detail povrchu w – drátku, průměr 50 μm

zv. 1000x

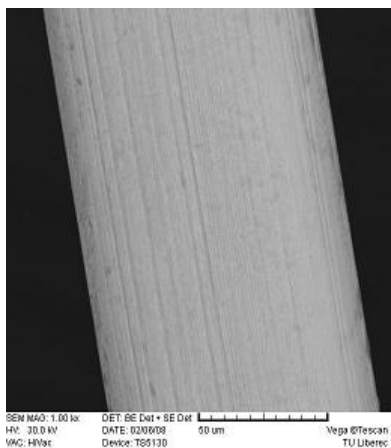


zv. 10000x

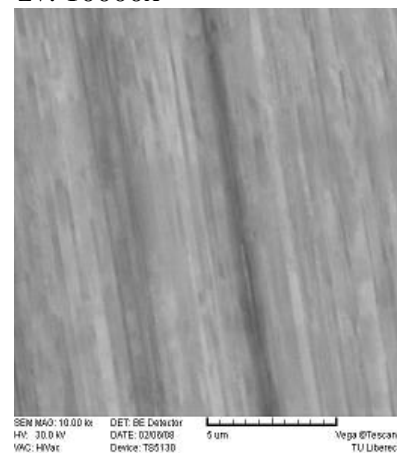


Obrázek 17 a 18 Povrch a detail povrchu w - drátku, průměr 100 μm

zv. 1000x



zv. 10000x



Obrázek 19 a 20 Povrch a detail povrchu w - drátku, průměr 100 μm, po přesoukání

Na obrázcích 15 a 16 jsou snímky povrchu a detailu povrchu w – drátku o průměru 50 μm . Na obrázcích 17 a 18 jsou snímky povrchu a detailu povrchu w – drátku o průměru 100 μm a na obrázcích 19 a 20 jsou snímky povrchu a detailu povrchu w – drátku také průměru 100 μm , ale po přesoukání.

Jak jde vidět na snímcích, wolframový drátek má charakteristický rys, a to rýhovaný povrch. Drátek průměru 100 μm má výrazně větší rýhování, oproti jemnějšímu drátku. Což vyplývá z výroby drátku. Různé průměry drátků se totiž vyrábí dloužením za tepla. Dloužením na menší průměr se tedy dlouží i rýhování a tím se zjemňuje.

Porovnáme-li snímky povrchů drátků stejného průměru (100 μm), ale před soukáním (tzn. v původním stavu, tak, jak jsme ho obdrželi od výrobce) a po soukání (tzn. po deformaci, protože wolframový drátek má tvarovou paměť a jakmile se sním pracuje, tak se narušuje povrch), zjistíme, že drátek po soukání nemá tak výrazné rýhování, ba naopak po deformaci výrazně rýhování ztrácí. To je způsobeno tím, že při převíjení vzniká trvalé protažení – nevratná deformace. A jelikož má wolframový drátek velikou tvarovou paměť a dojde k trvalému protažení, tak se povrch drátku uhlazuje a tím dochází i k vyhlazení jeho typického rýhování.

Jakékoliv zpracování drátku, a tím i vznik nevratné deformace, vede k poškození jeho povrchu (technologické operace, vedení přes vodící elementy atd.) a tím i následně ke zhoršení jeho mechanických vlastností a vlastností obecně.

Při zpracování tohoto materiálu musíme tedy velmi opatrně volit operace a strojní zařízení, na kterém budeme tento materiál zpracovávat, aby došlo k co nejmenšímu porušení drátků a tím i k co nejmenšímu ovlivnění jeho vlastností.

2.1.4 PŘÍČNÝ ŘEZ W – DRÁTKŮ

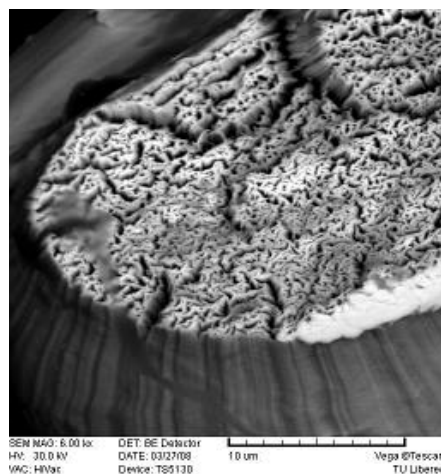
Pro úplnost byly provedeny a nasnímány příčné řezy wolframových drátků. Příčné řezy byly opět nasnímány na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA.

Nasnímané obrázky příčných řezů použitých drátků jsou na následujících obrázcích.

zv. 2500x

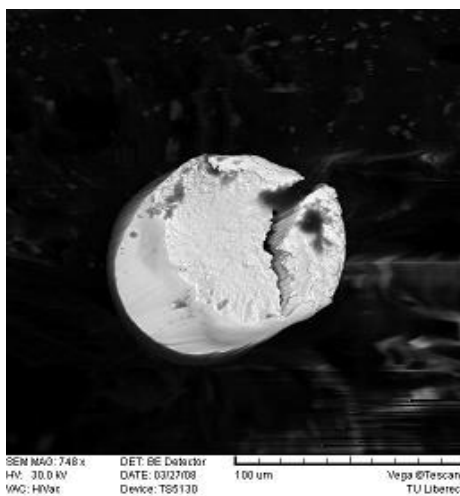


zv. 6000x

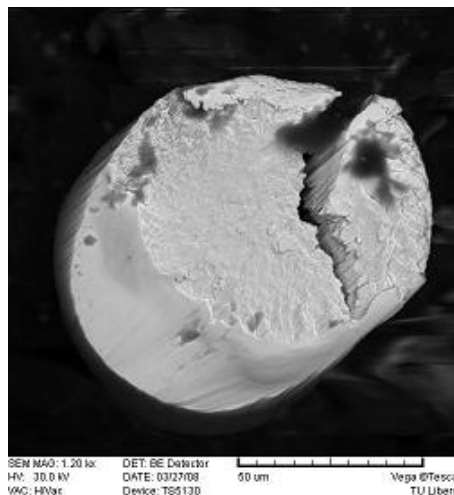


Obrázek 21 a 22 Příčné řezy w – drátků, průměr 50 µm

zv. 748x



zv. 1200x



Obrázek 23 a 24 Příčné řezy w - drátků, průměr 100 µm

Na obrázcích 21 a 22 jsou snímky povrchu příčných řezů wolframových drátků o průměru 50 μm a na obrázcích 23 a 24 jsou snímky povrchu příčných řezů wolframových drátků o průměru 100 μm .

Příčný řez jemnějšího drátku byl proveden klasicky, jako běžná textilní vlákna, a to skalpelem. Silnější drátek ale nešel přeříznout klasicky (pro svou vysokou tuhost), proto bylo nutné příčný řez provést jedinou dostupnou možností, a to nůžkami. Jelikož je ale wolframový drátek velmi křehký, nůžky narušily jeho strukturu a drátek prasknul, což je vidět na uvedených snímcích.

Porovnáme-li povrch příčného řezu drátku 50 μm a 100 μm , je patrný veliký rozdíl ve struktuře povrchu. Silnější drátek má strukturu spíše celistvou, kdežto slabší drátek, tzn. i křehčí, má strukturu silně narušenou. Na jeho povrchu řezu jsou vidět prasklinky, které mohou být způsobeny již výrobou drátku (dloužením).

2.1.5 STANOVENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI V TAHU

Pevnost v tahu je napětí do přetrhu a je definovaná jako maximální síla potřebná k přetržení vzorku, a tažnost je poměr prodloužení vzorku k jeho výchozí délce, vyjádřený v procentech.

Podstata zkoušky

Princip metody spočívá v zatěžování jednotlivých wolframových drátků ve směru jejich osy tahovou silou až do přetrhu.

Postup zkoušky

Pro trhání jednotlivých drátků byl použit trhací přístroj TIRA TEST 2300 firmy Labortech (obrázek 25). Dynamometr je složen ze dvou čelistí, z nichž spodní čelist je pevná a horní posuvná. Výhodou je připojení k počítači, kde je nainstalován software LabTest v.3, který naměřené hodnoty automaticky zpracovává. Vzorek drátku byl upnut do čelistí přístroje, bez předpětí.

Vzhledem k vlastnostem wolframových drátků je jejich upnutí do čelistí trhacího stroje obtížné. Drátky prokluzují a mají sklon k lámavosti. Proto bylo nutné jednotlivé wolframové drátky do čelistí upevnit opásáním. Velká opatrnost byla věnována manipulaci s drátkem, aby nedošlo k jejich poškození. Poškození drátku či jeho povrchu totiž způsobuje zhoršení jeho vlastností, a tudíž i snížení pevnosti.

Pohyblivá svorka byla uvedena do chodu a vzorek se napínal až do přetržení. Byly použity drátky průměru 50 a 100 μm .

Na počítači byly pomocí ovládacího programu zvoleny rychlosti posuvu čelistí, upínací délka, průměr trhaných vláken a další parametry nutné k provozu přístroje. Na monitoru počítače byla pozorována pracovní křivka tahové zkoušky.

Program vyhodnotil pevnost, tažnost, modul pružnosti a energii potřebnou do přetrhu u zkoušených vzorků.



Obrázek 25 Trhací přístroj TIRA TEST 2300

Nejdříve bylo *nastavení trhacího přístroje* následující: upínací délka vzorku 500 mm, rychlost posuvu čelisti 60 mm/min, bez předpětí.

Dále se vycházelo z předpokladu, že s nárůstem upínací délky drátku na trhacím přístroji bude klesat zjišťovaná pevnost.

Jestliže pevnost vyjadřuje sílu, kterou je potřeba vyvinout na to, aby se drátek přetrhnul v nejslabším místě zatěžovaného úseku, můžeme očekávat, že dlouhý úsek drátku obsahuje alespoň jedno extrémně málo pevné místo. Jeho pevnost bude pravděpodobně velmi malá. Naopak krátký úsek drátku zřejmě nebude obsahovat žádné extrémně málo pevné místo. Jeho pevnost bude tedy poměrně velká.

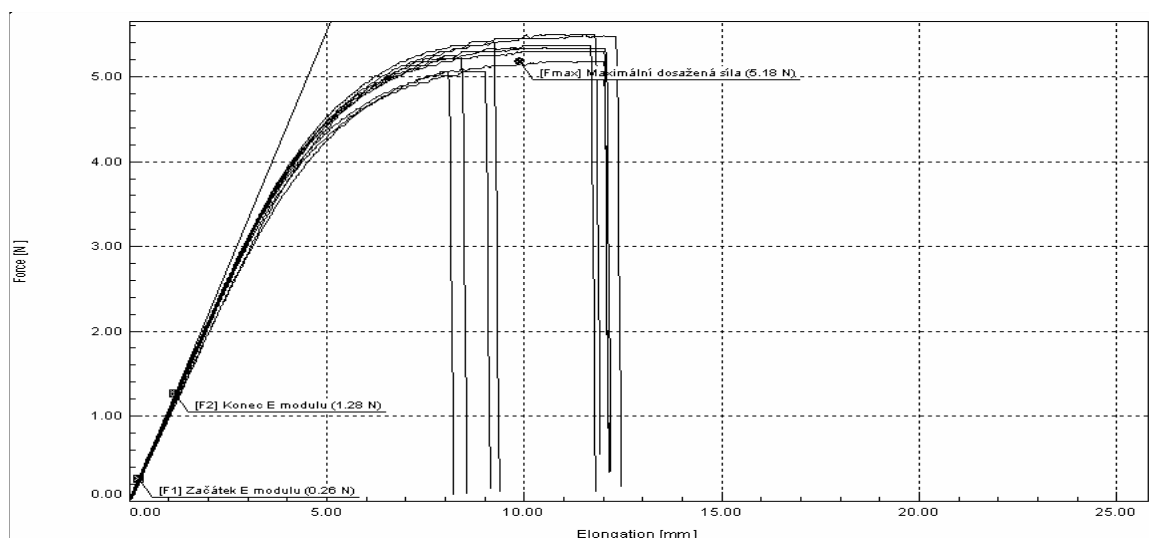
Proto bylo dále ještě *nastavení trhacího přístroje* následující: upínací délka vzorku 250 mm, rychlost posuvu čelisti 60 mm/min, bez předpětí.

A. Upínací délka 500 mm

V tabulce 5 jsou znázorněny hodnoty pro drátek průměru 50 μm a v grafu 1 jsou zaznamenány pracovní křivky tahové zkoušky drátků průměru 50 μm .

n	Amax [mm]	E [Mpa]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]	E [Gpa]
1	10,557	53017,320	2,110	5,340	0,144	2719,642	270,015
2	9,995	52335,190	2,000	5,370	0,145	2734,921	266,541
3	8,466	52270,440	1,690	5,220	0,141	2658,526	266,211
4	11,128	52563,660	2,230	5,300	0,143	2699,270	267,705
5	9,013	52590,310	1,800	5,060	0,137	2577,039	267,840
6	9,951	53500,710	1,990	5,180	0,140	2638,155	272,477
7	10,105	53962,350	2,020	5,490	0,148	2796,036	274,828
8	9,274	52373,850	1,850	5,410	0,146	2755,293	266,738
9	8,095	49814,270	1,620	5,060	0,137	2577,039	253,702
10	11,608	49641,720	2,320	5,490	0,148	2796,036	252,823
\bar{X}	9,819	52206,980	1,960	5,300	0,143	2695,196	265,888
s	1,122	1415,780	0,220	0,160	0,004	80,734	7,210
v	11,431	2,710	11,430	3,010	2,995	2,995	2,712
IS	9,016	51194,191	1,803	5,186	0,140	2637,442	260,730
	÷ 10,622	÷ 53219,769	÷ 2,117	÷ 5,414	÷ 0,146	÷ 2752,950	÷ 271,046

Tabulka 5 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 50 μm

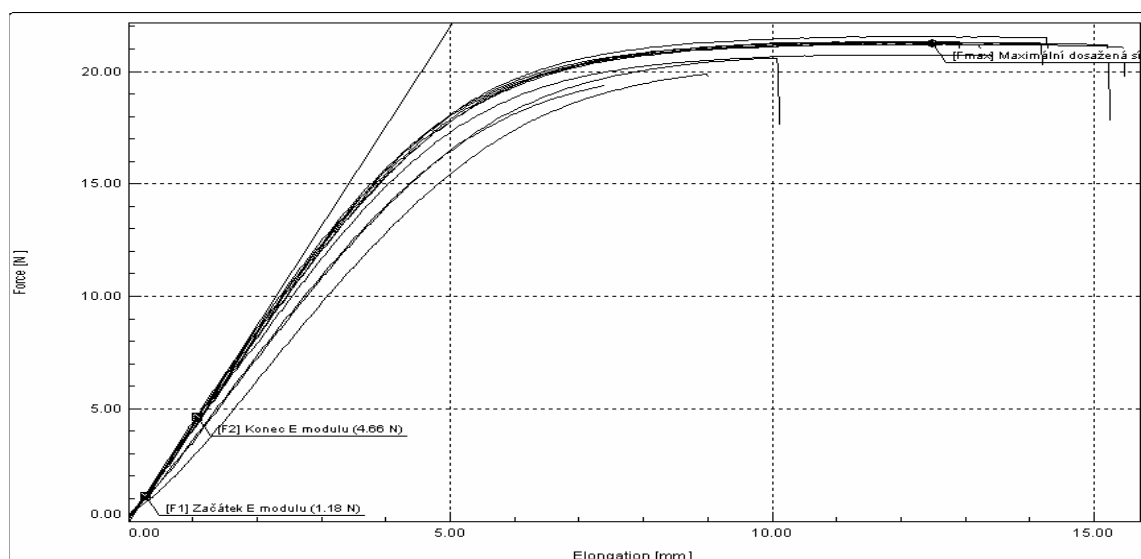


Graf 1 Tahové křivky drátků průměru 50 μm

V tabulce 6 jsou znázorněny hodnoty pro drátek průměru 100 μm a v grafu 2 jsou zaznamenány pracovní křivky tahové zkoušky drátků průměrů 100 μm .

n	Amax [mm]	E [Mpa]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]	E [Gpa]
1	9,231	152825,810	1,850	19,900	0,125	2533,749	194,584
2	11,326	200750,480	2,270	20,740	0,130	2640,701	255,604
3	7,526	182199,810	1,510	19,360	0,122	2464,994	231,984
4	10,299	177667,660	2,060	20,600	0,130	2622,876	226,214
5	11,585	207733,670	2,320	21,220	0,133	2701,817	264,495
6	11,460	218591,860	2,290	21,300	0,134	2712,003	278,320
7	12,592	218197,770	2,520	21,210	0,133	2700,543	277,818
8	11,504	205358,280	2,300	21,340	0,134	2717,095	261,471
9	11,563	209094,120	2,310	21,260	0,134	2706,910	266,227
10	11,437	214860,720	2,290	21,540	0,135	2742,560	273,569
\bar{X}	10,852	198728,000	2,170	20,850	0,131	2654,325	253,029
s	1,469	21328,770	0,290	0,710	0,004	90,535	27,157
v	13,539	10,730	13,540	3,420	3,318	3,411	10,733
xmin	7,526	152825,810	1,510	19,360	0,122	2464,994	194,584
xmax	12,592	218591,860	2,520	21,540	0,135	27,42,560	278,320
IS	9,801	183470,298	1,963	20,342	0,128	2589,560	233,602
	÷ 11,903	÷ 213985,702	÷ 2,377	÷ 21,358	÷ 0,134	÷ 2719,089	÷ 272,456

Tabulka 6 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 100 μm



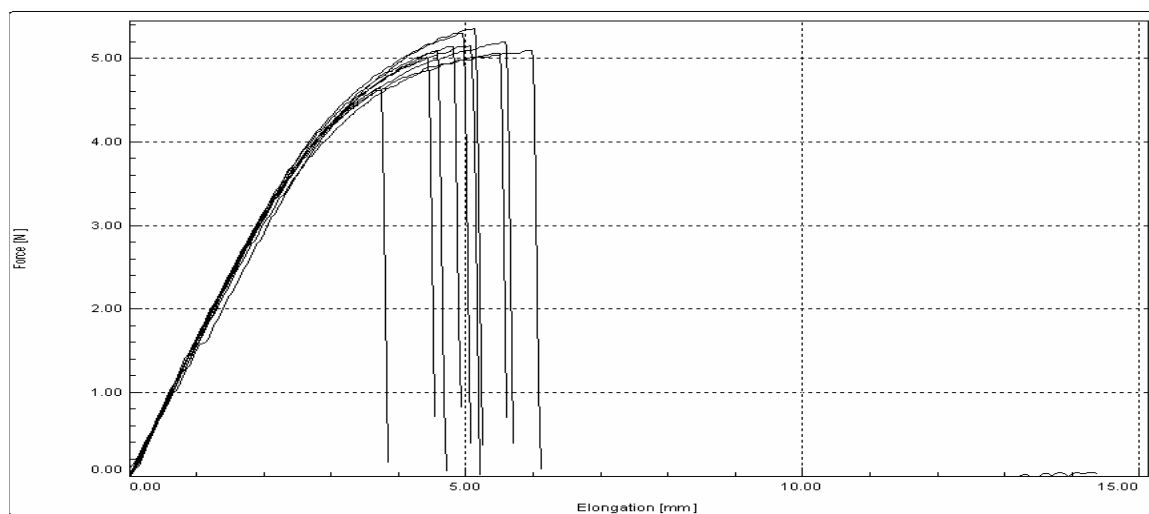
Graf 2 Tahové křivky drátků průměrů 100 μm

B. Upínací délka 250 mm

V tabulce 7 jsou znázorněny hodnoty pro drátek průměru 50 μm a v grafu 3 jsou zaznamenány pracovní křivky tahové zkoušky drátků průměru 50 μm .

n	Amax [mm]	E [Mpa]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]	E [Gpa]
1	4,806	41810,730	1,920	5,140	0,139	2619,108	213,048
2	5,088	40727,380	2,040	5,150	0,139	2624,204	207,528
3	3,778	40704,260	1,510	4,660	0,126	2374,522	207,410
4	4,475	39378,500	1,790	5,020	0,136	2557,962	200,655
5	5,896	43637,790	2,360	5,100	0,138	2598,726	222,358
6	5,480	39818,770	2,190	5,060	0,137	2578,344	202,898
7	5,613	40289,690	2,250	5,190	0,140	2644,586	205,298
8	5,196	38268,200	2,080	5,360	0,145	2731,210	194,997
9	4,628	40289,690	1,850	5,090	0,138	2593,631	205,298
10	4,934	41406,540	1,970	5,300	0,143	2700,637	210,989
\bar{X}	4,989	40633,150	2,000	5,110	0,138	2602,293	207,048
s	0,615	1456,510	0,250	0,190	0,005	96,234	7,422
v	12,326	3,580	12,330	3,700	3,654	3,698	3,585
xmin	3,778	38268,200	1,510	4,660	0,126	2374,522	200,655
xmax	5,896	43637,790	2,360	5,360	0,145	2731,210	222,358
IS	4,549	39591,224	1,821	4,974	0,134	2533,451	201,739
	÷ 5,429	÷ 41675,076	÷ 2,179	÷ 5,246	÷ 0,142	÷ 2671,135	÷ 212,357

Tabulka 7 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 50 μm

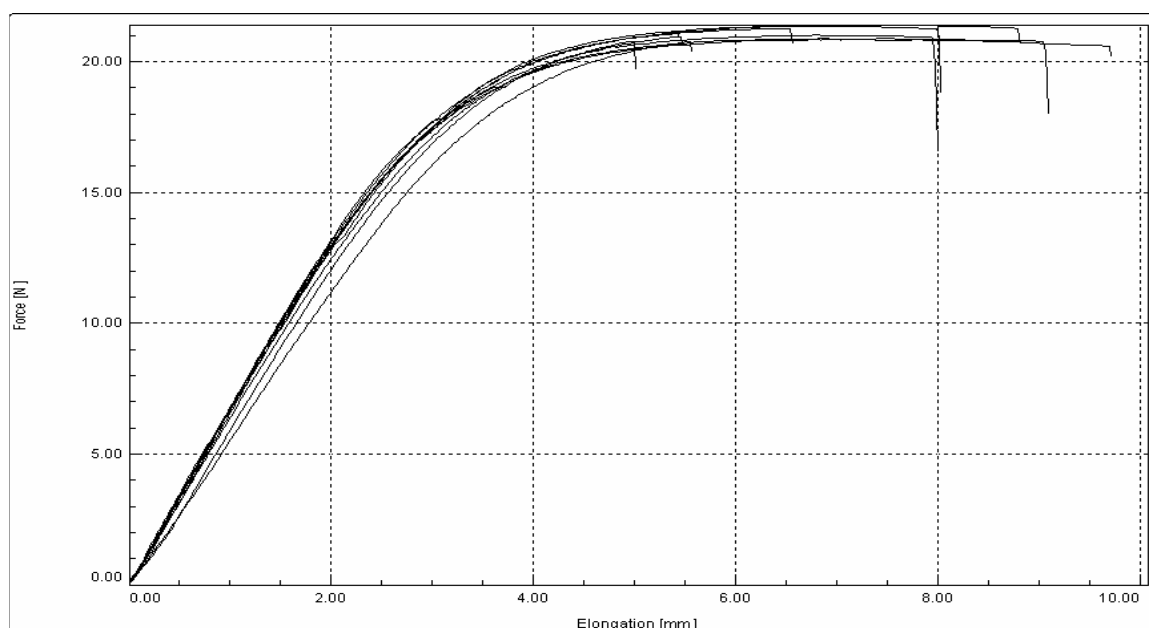


Graf 3 Tahové křivky drátků průměru 50 μm

V tabulce 8 jsou znázorněny hodnoty pro drátek průměru 100 μm a v grafu 4 jsou zaznamenány pracovní křivky tahové zkoušky drátků průměrů 100 μm .

n	Amax [mm]	E [Mpa]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]	E [Gpa]
1	7,157	175881,500	2,860	20,850	0,131	2656,051	224,053
2	6,356	170428,400	2,540	21,340	0,134	2718,471	217,106
3	7,508	174737,600	3,000	20,890	0,131	2661,146	222,596
4	6,422	171530,500	2,570	21,260	0,134	2708,280	218,510
5	6,854	174495,400	2,740	21,010	0,132	2676,433	222,287
6	7,008	167238,800	2,800	21,380	0,134	2723,567	213,043
7	5,523	158978,800	2,210	20,940	0,132	2667,516	202,521
8	5,590	137163,500	2,240	20,740	0,130	2642,038	174,731
9	5,482	165762,000	2,190	21,090	0,133	2686,624	211,162
10	5,065	131675,500	2,030	20,760	0,131	2644,586	167,739
\bar{X}	6,296	162789,200	2,520	21,030	0,132	2678,471	207,375
s	0,838	15824,970	0,340	0,230	0,001	29,798	20,159
v	13,311	9,720	13,310	1,110	1,118	1,112	9,721
xmin	5,065	131675,500	2,030	20,740	0,130	2642,038	167,739
xmax	7,508	175881,500	3,000	21,380	0,134	2723,567	224,053
IS	5,697	151468,684	2,277	20,866	0,131	2657,155	192,954
	÷ 6,895	÷ 174109,716	÷ 2,763	÷ 21,195	÷ 0,133	÷ 2699,787	÷ 221,796

Tabulka 8 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 100 μm



Graf 4 Tahové křivky drátků průměrů 100 μm

2.1.6 STANOVENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI V UZLU

Vzorky byly připraveny obdobně jako u měření pevnosti a tažnosti v tahu, ale s tím rozdílem, že uprostřed upínací délky byl uvázán klasický uzel.

Princip a postup zkoušky byly také stejné. Zkouška byla provedena na upínací délce 250 mm za stejných podmínek jako u předešlých měření pevnosti v tahu.

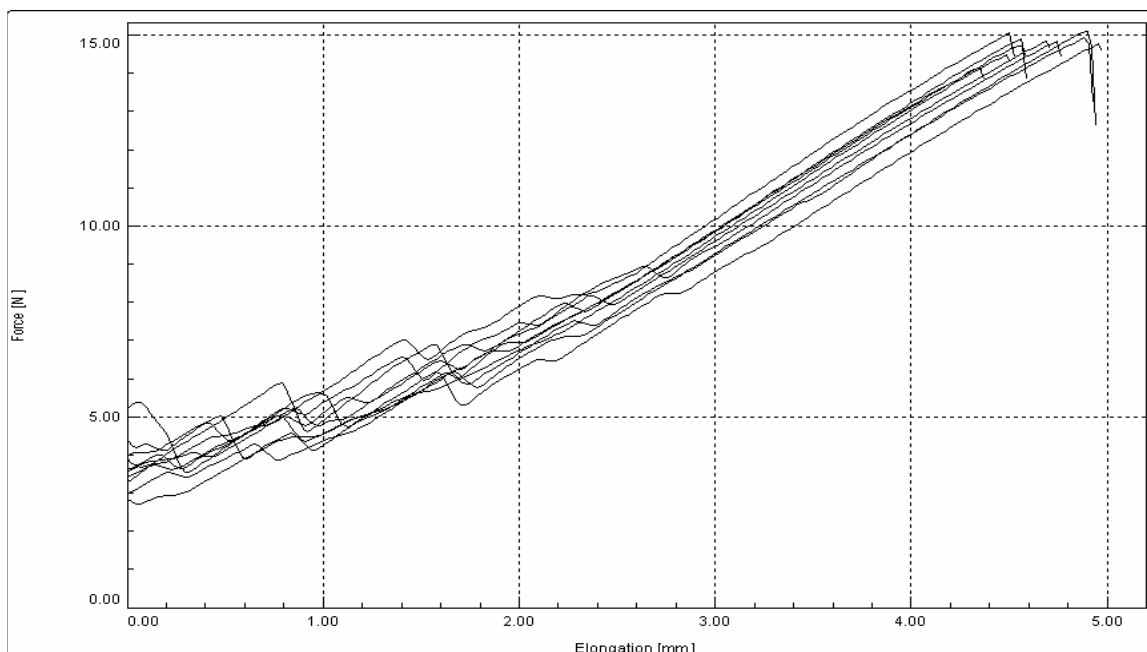
Zkouška pevnosti v uzlu se ale povedla pouze u silnějšího drátku, tzn. u drátku průměru 100 μm . U slabšího drátku trhací přístroj okamžik přetrhu nestihl zaregistrovat.

U vláknitých materiálů pevnost v uzlu dosahuje více než 70 % pevnosti v tahu. Proto byl stanoven předpoklad, že pevnost v uzlu odpovídá více než 70 % pevnosti v tahu.

V tabulce 9 jsou znázorněny hodnoty pro drátek průměru 100 μm a v grafu 5 jsou zaznamenány pracovní křivky tahové zkoušky drátků průměrů 100 μm .

n	Amax [mm]	E [Mpa]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]	E [Gpa]
1	9,824	81837,230	3,930	14,500	0,091	1847,134	104,251
2	9,670	81899,710	3,870	14,170	0,089	1805,096	104,331
3	10,588	81753,050	4,240	14,720	0,093	1875,159	104,144
4	9,340	80178,340	3,740	14,840	0,093	1890,446	102,138
5	12,187	80517,450	4,870	14,830	0,093	1889,172	102,570
6	9,934	83089,190	3,970	14,900	0,094	1898,089	105,846
7	12,030	85121,650	4,810	15,050	0,095	1917,197	108,435
8	10,869	78452,600	4,350	15,110	0,095	1924,841	99,940
9	8,974	77252,270	3,590	14,930	0,094	1901,911	98,411
10	9,563	75384,990	3,830	14,780	0,093	1882,803	96,032
\bar{X}	10,298	80548,650	4,120	14,780	0,093	1883,185	102,609
s	1,102	2874,490	0,440	0,280	0,002	34,985	3,662
v	10,706	3,570	10,710	1,860	1,963	1,858	3,569
xmin	8,974	75384,990	3,590	14,170	0,089	1805,096	96,032
xmax	12,187	85121,650	4,870	15,110	0,095	1924,841	108,435
IS	9,509	78492,361	3,805	14,579	0,092	1858,158	99,989
	÷ 11,086	÷ 82604,939	÷ 4,435	÷ 14,980	÷ 0,094	÷ 1908,212	÷ 105,229

Tabulka 9 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek 100 μm



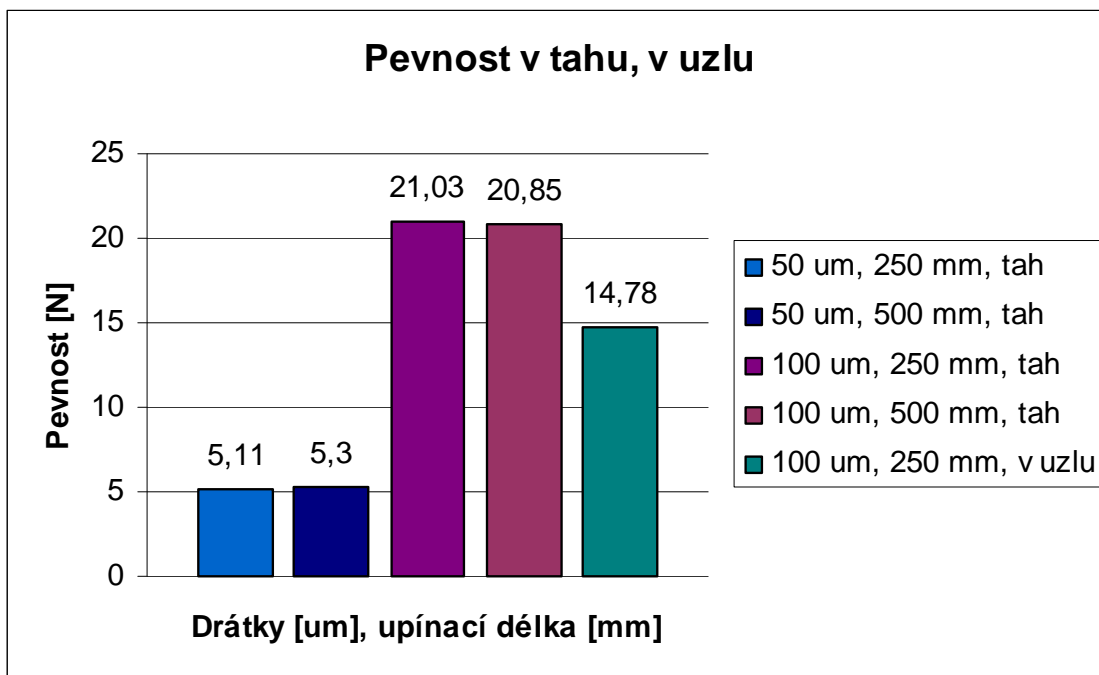
Graf 5 Tahové křivky drátků průměrů 100 μm

U zkoušek pevnosti a tažnosti v tahu a pevnosti a tažnosti v uzlu byly zjišťované parametry následující: A_{max} [mm], A_{max} [%], W [J], E [Mpa] a F_{max} [N]. Dále byly ještě přepočítány dle vztahů (3), (5) a (6) následující parametry: E [Gpa], F [Mpa] a f [N/tex]. Parametry jsou navíc doplněny tahovými křivkami.

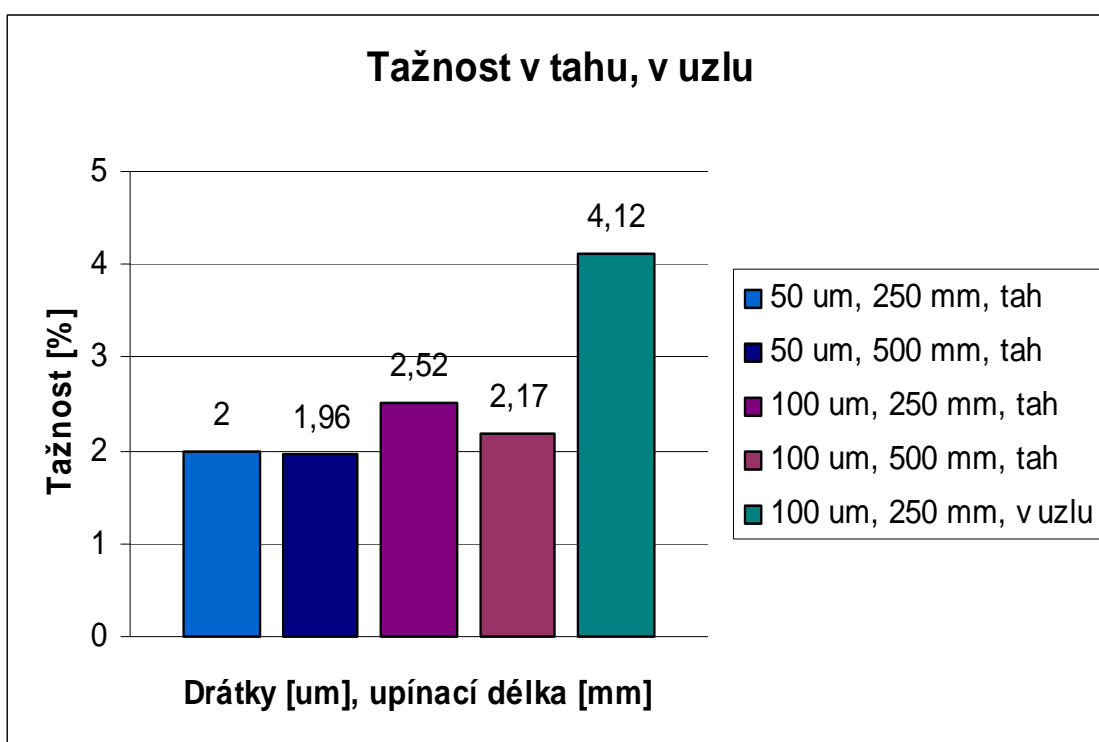
Srovnáme-li tahové křivky jednotlivých typů drátků, je patrné, že skoro všechny drátky mají téměř totožný průběh pevnosti. Drátky jsou stejnoměrnější než běžný textilní materiál, což je dáno jejich výrobou.

Pouze je z grafů patrné, že k přetrhu u jednotlivých drátků dochází v rozdílném čase, v rozdílné délce protažení. U pevnosti v tahu, například na upínací délce 500 mm u drátku 100 μm dochází k přetržení jednotlivých drátků od 6 po 15 mm protažení. Kdežto u pevnosti v uzlu, na upínací délce 250 mm u drátku 100 μm není tak veliké rozpětí. K přetrhu dochází téměř na stejné délce protažení, zhruba mezi 4 – 5 mm.

Pro lepší názornost a možné porovnání byly dány zjišťované pevnosti a tažnosti v tahu a v uzlu do společného grafu 6 a 7.



Graf 6 Pevnost v tahu, v uzlu



Graf 7 Tažnost v tahu, v uzlu

U zkoušky pevnosti a tažnosti v tahu bylo provedeno měření na krátkých a na dlouhých úsečkách s tím, že se předpokládalo, že pevnost na krátkých úsečkách bude vyšší. Tento předpoklad se potvrdil. Ale spíše u drátku průměru 100 μm . Drátek slabší, průměru 50 μm , je více náchylnější a více nestejnomořný a nelze u něj tedy předpoklad potvrdit. Rozdíly u pevností jsou ale pouze minimální. Drátky se chovají jinak než běžný textilní materiál, ten je více nestejnomořný a tudíž má výrazně větší rozdíly v pevnostech na krátkých a dlouhých úsečkách.

U zkoušky pevnosti a tažnosti v uzlu byl stanoven předpoklad, že pevnost v uzlu bude dosahovat více než 70 % pevnosti v tahu. Tento předpoklad se také potvrdil. Pevnost v uzlu je v případě wolframového drátku spíše menší, pohybuje se těsně nad sedmdesáti procenty pevnosti v tahu. U grafu tažnosti je hodnota tažnosti v uzlu výrazně větší. Při zkoušce dochází k postupnému utahování uzlu, a tím dochází k nárůstu tažnosti, dochází k dloužení.

Jak je patrné, wolframový drátek má malou pevnost, ale i tažnost. Oproti běžnému textilnímu materiálu je tažnost řádově 10x – 100x nižší. Dále má w-drátek poměrně vysoký modul pružnosti (260 GPa). Proto se předpokládalo, že při zpracování tohoto materiálu (převíjení, tkaní atd.) bude docházet k řadě problémům.

2.1.7 STANOVENÍ PEVNOSTI VE SMYČCE

Smyčkový test nám slouží k určení kritického průměru o nějž je možné drátek ohnout. Známe-li u drátku modul pružnosti v tahu a průměr drátku, můžeme z něj vypočítat pevnost [23].

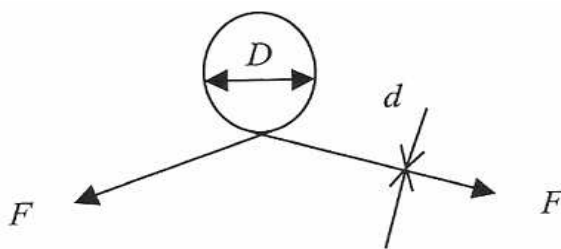
Princip měření

Drátek je dán na podložní sklíčko tak, aby z něj byla vytvořena smyčka. Zatíží se krycím sklíčkem. Vytvořená smyčka je postupně utahována až do okamžiku přetržení.

Postup měření

Na podložní sklíčko se nanese kapka glycerinu a na ni je umístěn drátek tak, aby z něj byla vytvořena smyčka viz obrázek 26. Poté je smyčka drátku zatížena krycím sklíčkem (zabrání se tak narovnání drátku). Připravený preparát se umístí na pracovní stolek projekčního mikroskopu LANAMETR MP3. Do prstů obou rukou se velmi jemně uchytí konce drátku a vytvořená smyčka se postupně utahuje až do okamžiku jeho přetržení. Tzn., že smyčka dosáhne kritického průměru a přetrhne se. Na přístroji se odečte průměr smyčky při přetrhu D [μm]. Pevnost drátků ve smyčce, neboli křehkost se pak stanoví dle vztahu (7).

Měření bylo provedeno při použití objektivu zvětšujícího 10x. Při použitém objektivu odpovídal 1 mm na matnici 4 μm .



Obrázek 26 Vytvořená smyčka z drátku

Zhodnocení metody

Metoda vyžaduje velkou trpělivost a velmi jemné a pomalé zacházení s drátkou. Zatahování smyčky musí být velmi pomalé a citlivé, abychom byli schopni zaregistrovat okamžik přetržení a tím tedy hodnotu kritického průměru smyčky.

Vzhledem ke specifice této metody se destrukce smyčky určuje pouhým okem, proto je výsledné stanovení průměru D zatíženo značnou nepřesností a individuální chybou.

V případě zjištění křehkosti wolframových drátků se však tato metoda neosvědčila. Stanovení kritického průměru přetrhu se nezdařilo, jelikož vůbec nedošlo k přetrhu drátku. Drátek se nepřetrhl z důvodu vysokého modulu pružnosti, vysoké vlastní tuhosti (drátek se nechová podle Hookova zákona).

Tato metoda je tedy spíše vhodná pro mnohem křehčí vlákna, jako jsou například uhlíková či čedičová vlákna.

Pro zjištění pevnosti ve smyčce, neboli křehkosti wolframových drátků, doporučuji zvolení jiné metody. Například smyčkový test, který se provádí na trnech. Metoda spočívá v tom, že máme desku, na které jsou umístěny trny, které mají definovaný průměr. Trny mají průměr například 0,05 mm, 0,5 mm, 1 mm atd. Kolem trnu se vytvoří smyčka, která se postupně utahuje. Máme pak tedy definovaný průměr, na kterém se drátek přetrhne.

Popřípadě můžeme jít na zkoušku z opačné strany. Zjistit, o jaký průměr je možné drátek ohnout. Známe-li průměr drátku, modul pružnosti a napětí (to zvolíme mezi 20 – 40 % pevnosti), můžeme dopočítat průměr, na nějž je možno drátek ohnout, dle následujícího vztahu (12):

$$D = f(d, E, \sigma) \quad (12)$$

2.1.8 CYKlickÉ NAMÁHÁNÍ

Pružnost materiálu je vlastnost materiálu, která způsobuje, že se materiál po odstranění příčiny deformace snaží zaujmout původní stav na rozdíl od plasticity, kdy po odstranění vnějších sil materiál zůstane deformován.

Pružnost v tahu má význam pro zpracování vláken či přízí. Z hlediska užitkových vlastností hotových výrobků má větší význam hodnota pružnosti, určovaná při opakovaném namáhání.

Cyklické namáhání se řadí také mezi mechanické vlastnosti. Je to tzv. zkouška na únavu materiálu, při které působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu. V důsledku cyklického namáhání vznikají v materiálech cyklické deformace, které vedou k porušení materiálu.

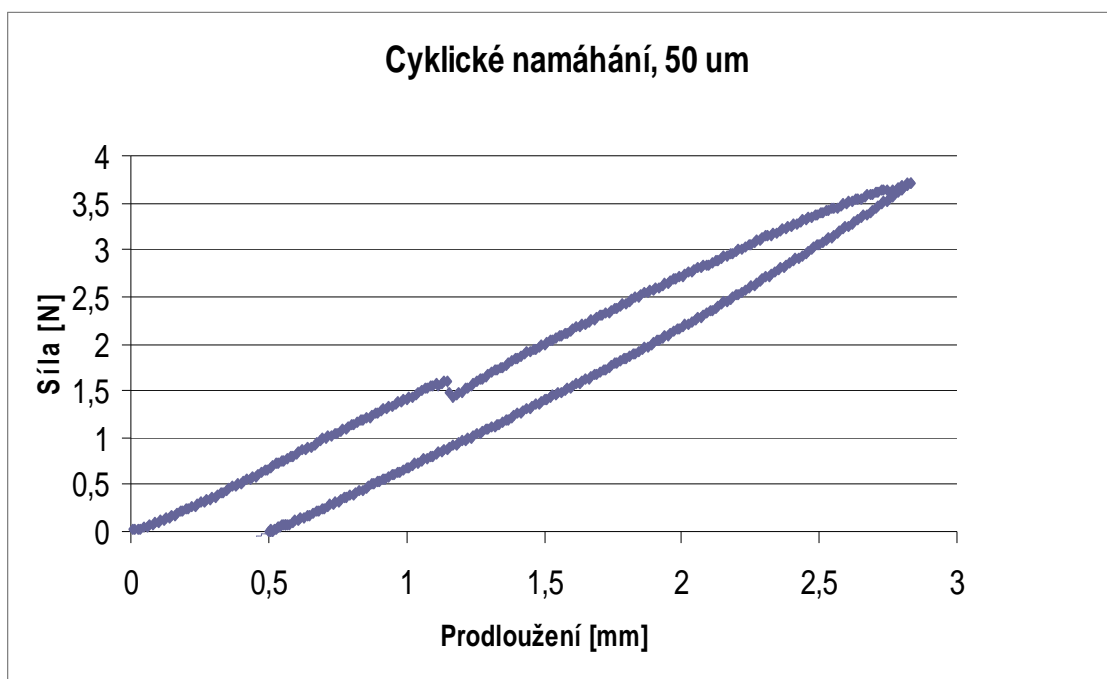
V tomto případě šlo pouze o doplňující měření. Cílem tohoto měření bylo zjistit, jakým způsobem narůstá trvalá deformace, a zda vůbec.

Nejdříve bylo uskutečněno orientační měření na trhačím přístroji TESTOMETRIC. Byl proveden jeden cyklus na každém drátku. Upínací délka byla 250 mm a rychlost posuvu čelisti byla 20 mm/min. Zatěžovací síla byla vždy zvolena síla odpovídající 70 % průměrné pevnosti daného průměru drátku. Tzn., že u slabšího drátku byla zatěžovací síla 3,71 N (70 % z 5,3 N), a u silnějšího drátku byla zatěžovací síla 14,6 N (70 % z 20,85 N). Průběhy cyklů jsou znázorněny v grafech 8 a 9.

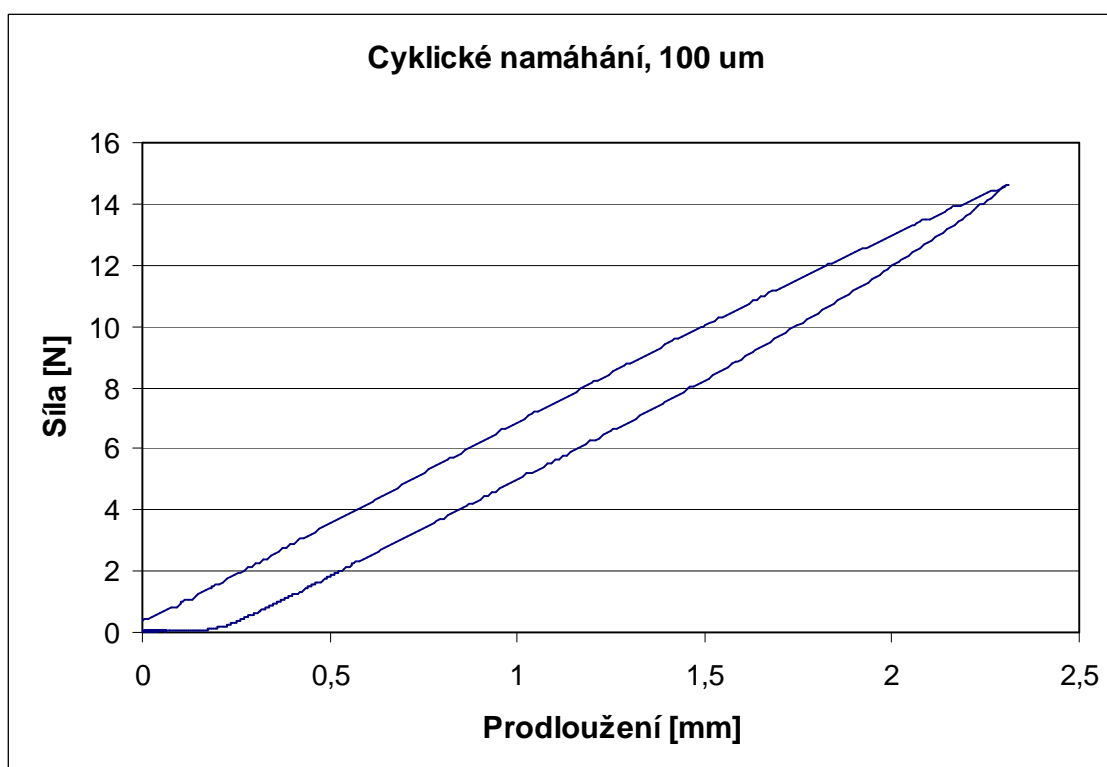
Dále bylo provedeno měření na trhačím přístroji Tera Test 2300. Použit byl program pro cyklické namáhání. *Nastavení trhačeho přístroje* bylo následující: upínací délka 250 mm, rychlost posuvu čelisti 60 mm/min, bez předpětí, 10 cyklů.

Měření bylo opět provedeno na obou drátcích. Stupeň zatížení se v průběhu měření měnil. Začínalo se vždy na 50% hodnotě pevnosti a postupně se s každým dalším drátkem zvyšoval.

V tabulkách 10 a 11 a v grafech 10 a 11 jsou znázorněny hodnoty a průběhy cyklického namáhání použitých wolframových drátků z trhačeho přístroje Tera Test.



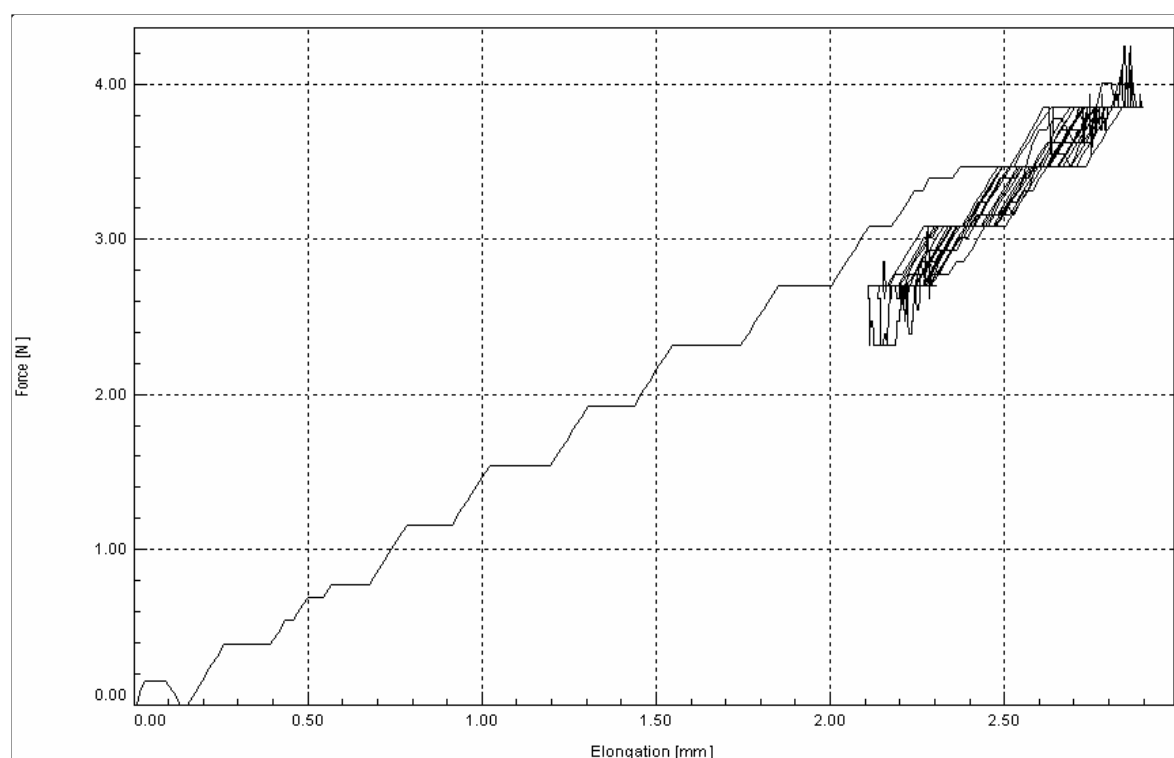
Graf 8 Cyklické namáhání drátku průměru 50 μm , zatěžovací síla 3,71 N



Graf 9 Cyklické namáhání drátku průměru 100 μm , zatěžovací síla 14,6 N

n	Zatížení [N]	Amax [mm]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]
1	2,5	2,125	0,85	3,47	0,094	1768,153
2	3	2,243	0,9	3,47	0,094	1768,153
3	3,5	2,862	1,14	4,24	0,115	2160,510
4	4	3,506	1,4	4,63	0,125	2359,236
5	4,5	4,665	1,87	4,86	0,131	2476,433
\bar{X}		3,080	1,232	4,134	0,112	2106,497
s		1,043	0,418	0,645	0,017	328,862
v		33,871	33,952	15,612	15,612	15,612
Xmin		2,125	0,850	3,470	0,094	1768,153
Xmax		4,665	1,870	4,860	0,131	2476,433
IS		1,785	0,713	3,333	0,091	1698,160
		÷ 4,375	÷ 1,751	÷ 4,935	÷ 0,133	÷ 2514,834

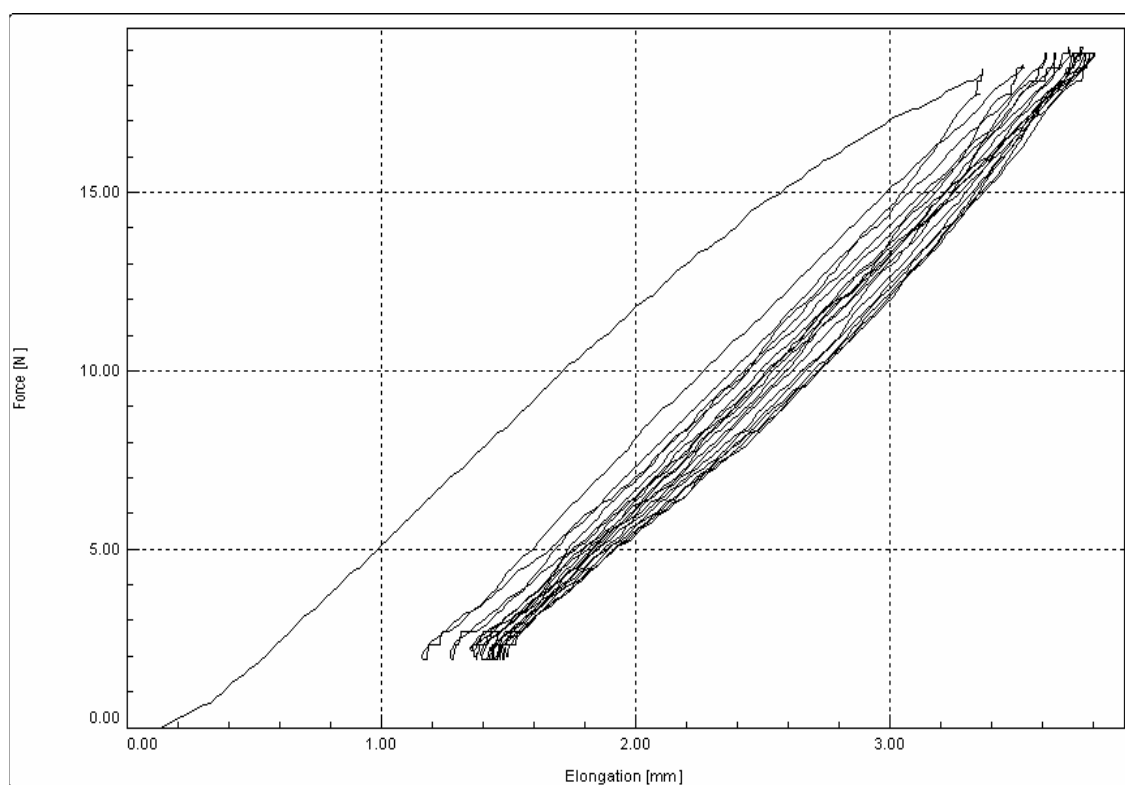
Tabulka 10 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 50 μm



Graf 10 Průběh cyklického namáhání drátku průměru 50 μm při zatížení 3,5 N

n	Zatížení [N]	Amax [mm]	Amax [%]	Fmax [N]	f [N/tex]	F [Mpa]
1	10	1,888	0,760	11,180	0,070	1424,204
2	15	2,857	1,140	16,200	0,102	2063,694
3	16	3,277	1,310	17,200	0,108	2191,083
4	18	3,757	1,500	19,050	0,120	2426,752
5	19	4,100	1,640	20,050	0,126	2554,140
\bar{X}		3,176	1,270	16,740	0,105	2131,975
s		0,861	0,340	3,450	0,022	439,947
v		27,100	27,100	20,630	20,636	20,636
Xmin		1,888	0,760	11,180	0,070	1424,204
Xmax		4,100	1,640	20,050	0,126	2554,140
IS		2,107	0,848	12,456	0,078	1585,708
		÷ 4,245	÷ 1,692	÷ 21,024	÷ 0,132	÷ 2678,242

Tabulka 11 Naměřené a vypočítané hodnoty pro drátek průměru 100 μm



Graf 11 Průběh cyklického namáhání drátku průměru 100 μm při zatížení 18 N

U zkoušky cyklického namáhání byly zjišťované parametry následující: A_{max} [mm], A_{max} [%], E [Mpa] a F_{max} [N]. Dále byla ještě přepočítána poměrná pevnost f [N/tex] dle vztahu (6). U každého typu drátku je znázorněn jeden graf průběhu cyklického namáhání při konkrétním zatížení.

Z grafů 8 a 9 je patrné, že u wolframového drátku dochází již při prvním cyklu (při prvním zatížení) k trvalé deformaci, trvalému protažení. Jak jednou drátek vystavíme působení tahové síly, již se nevrátí do původního stavu, a vzniká tak tedy plastická deformace.

Z grafů 10 a 11, kde bylo provedeno 10 cyklů, je vidět, že trvalá deformace téměř nenarůstá. Při prvním cyklu vznikne trvalá deformace a dále se již téměř nemění.

Po prvním zatížení tedy u wolframového drátku nastává plastická deformace a při dalších cyklech je deformace již elastická, která téměř nenarůstá a je téměř stejná.

2.2 VÝROBNÍ PŘEDPIS

Výrobní předpis tkaniny obsahuje všechny technické údaje daného druhu tkaniny.

2.2.1 VÝROBNÍ PŘEDPIS KOVOVÉ TKANINY Z W – DRÁTKŮ

- Druh tkaniny: kovová tkanina
- Materiál: osnova - wolfram
útek - wolfram
- Průměr drátu: osnova - $d_o = 100 \mu\text{m}$
útek - $d_u = 50 \mu\text{m}$
- Délka tkaniny: $l = 1000 \text{ m}$
- Šířka tkaniny: $b = 0,02 \text{ m}$
- Hmotnost tkaniny: $m = 980 \text{ g/m}^2$
- Dostava: osnova - $D_o = 5000 \text{ nití/1 m}$
útek - $D_u = 5000 \text{ nití/1 m}$
- Celkový počet drátků: osnovy - $c_{pno} = 100 \text{ nt}$
útku - $c_{pnú} = 5000000 \text{ nt}$
- Spotřeba materiálu: osnovní drátky - $m_o = 21 \text{ g/m}$
útkové drátky - $m_u = 205555,56 \text{ g/m}$
- Vazba: plátnová 1/1
- Počet listů: 4
- Návod do listů: rozsazený 1, 3, 2, 4
- Návod do paprsku: 2 nitě do zubu
- Číslo paprsku: 150
- Kraje: 1 kraj pevný, 1 kraj pletený řetízek
- Prošlupní zařízení: vačkové
- Tkací stroj: jehlový, firma Jakob Muller, typ NBT A 725e

2.2.2 NÁKLADY NA VÝROBU KOVOVÉ TKANINY

Úkolem této diplomové práce bylo mimo jiné stanovit výrobní předpis pro výrobu tkaniny z wolframových drátků *včetně* nákladů na výrobu a danou tkaninu vyrobit.

Výrobní program tkalcovny je technicky náročný, je různorodý a poměrně často se mění. Při tom je průběžná doba výroby nového druhu tkaniny až několik týdnů. Proto se tkalcovna řadí mezi ekonomicky a organizačně nejsložitější textilní provozy [24].

Základním ukazatelem pro posouzení ekonomie tkaní jsou výrobní náklady na 1 m² tkaniny. Jejich hodnota předurčuje míru zisku při prodeji tkanin. Pro textilní podnik jsou důležité ještě další ukazatelé, jako návratnost investic, produktivita práce, spotřeba energie a jiné [24].

Výroba tkanin se stala velmi konkurenčním průmyslem a přežití každého systému je závislé na ekonomické výrobě tkaniny [25].

Úspěch z jakéhokoliv průmyslového či obchodního podnikání může být měřen ziskem na jednotku investice. Ziskem může být považován rozdíl mezi výrobními výdaji a příjmy z prodej. Celkové zisky mohou být zvýšeny zvyšováním objemu prodeje, redukováním nákladů nebo zvyšováním hodnoty produktu. [25].

Součet nákladů přiřazených k nějakému výrobku reprezentuje cenu výrobku. Dejme tomu, že cena produktu a výrobní výkonnost závodu jsou pevné (fixní), pak každé zvýšení zisku musí být nevyhnutelně vypočítáno pro snížení ceny výrobku. Cena za metr konečné tkaniny zahrnuje podíl způsobený každým úsekem, který se účastnil výroby tkaniny. Základy výrobních nákladů můžou být definovány takto:

- 1) náklady na materiál (v případě tkalcovny jsou dány hlavně spotřebou přízí)
- 2) mzdové náklady
- 3) režijní náklady (to jsou stavební náklady, teplo, energie, stroje, zařízení, pojištění, daně atd.) [25].

Dále bude pojednáno jen o nákladech tkalcovny, ale pouze všeobecně, neboť záleží na typu strojů, typu přízích, systému organizování atd.

Všechny tyto náklady můžeme klasifikovat jako přímé nebo režijní náklady. Aktuální čísla se značně mění podle použitého materiálu příze, počtu, struktury tkaniny apod.. Rozdělení nákladů je tedy následující [25]:

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| 1) surovina (zakoupení příze) | 65 % nákladů |
| 2) práce | 20 % nákladů |
| 3) ostatní výrobní náklady | 15 % nákladů. |

Vycházelo se tedy z předpokladu, že náklady na surovinu tvoří 65 % z celkových nákladů. Ty lze vypočítat jednoduše.

Náklady byly spočítány pro výrobu wolframového pásu širokého 20 mm a dlouhého 1000000 mm. Dostava osnovy i útku byla 50000 nt/1 m.

Cena vláken – drátků:

- Osnova – 100 μm 22 eur/km
- Útek – 50 μm 57 eur/km

Počet nití v osnově: $(0,02 : 0,01) \cdot 50 = 100 \text{ nt} / 0,02 \text{ m}$

Počet nití do útku: $(1000 : 0,01) \cdot 50 = 5000000 \text{ nt} / 1000 \text{ m}$

A) Náklady na materiál:

- Osnova - materiál: $100 \cdot 1000 \cdot 0,022 = 2200 \text{ eur}$
- rozjetí stroje: $20 \cdot 100 \cdot 0,022 = 44 \text{ eur}$
- Útek - materiál: $5000000 \cdot 0,02 \cdot 0,057 = 5700 \text{ eur}$
- Náklady na materiál: $2200 + 44 + 5700 = 7944 \text{ eur}$
- 5 % na ztráty – 397,2 eur
- **Celkové náklady na materiál: 8341,20 eur (208530 Kč)**

B) Náklady celkové

Předpokládáme-li tedy, že náklady na surovinu tvoří 65 % celkových nákladů, můžeme jednoduše dopočítat zbylých 35 %.

Celkové náklady jsou tedy **320815,50 Kč**, ale na výrobu konkrétního pásu. Pro posouzení ekonomie tkaní jsou výrobní náklady vyjádřeny na 1 m² tkaniny.

Přepočítáme-li tedy cenu na 1 m² tkaniny, vyjdou nám celkové výrobní náklady **16040,50 Kč/1 m²**.

Náklady tkaní je také možné počítat pomocí počítače, který je vybaven speciálním softwarem. Do programu zadáme pouze potřebné údaje, jako jsou materiál, cena materiálu, dostavy, šíře stroje, otáčky stroje apod. a program vypočítá výrobní náklady na 1 m² tkaniny. S počítačem je možné schraňovat všechna data a s použitím jednoduchého programu lze vypočítat efektivitu. Mimo to ho lze využívat i ke kontrole výkonu a analyzovat poruchovost v rámci poruch stroje, lidí či materiálu.

Tímto softwarem je vybaven například Libštátský textilní závod LTZ, s. r. o..

2.3 VÝROBA TKANINY Z W – DRÁTKŮ

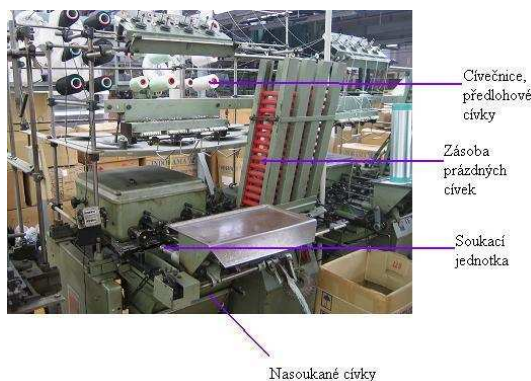
Výroba tkaniny z wolframového drátku byla uskutečněna ve firmě Elas, v Hrádku nad Nisou. Materiál byl zakoupen od firmy Osram Bruntál. Nejdříve se musel stanovit technologický postup výroby tkaniny. Ten v tomto případě obsahoval pouze soukání osnovy a vlastní tkaní.

2.3.1 SOUKÁNÍ OSNOVY

Účelem soukání osnovy je přivinutí příze, drátku, z nevhodného tvaru na tvar vhodný. Materiál do osnovy byl obdržen od výrobce na dvou cívkách. Bylo tudíž nutné přesoukat osnovu na požadovaný počet cívek.

Soukání osnovy se provádělo na soukacích automatech firmy Hacoba s automatickou výměnou plné cívky za prázdnou (viz obr.27), na 60 cívek a to válcových. Na 1 cívku bylo nasoukáno 45 metrů w - drátku o celkové hmotnosti 40,5 g.

Odvíjení drátku z předlohy muselo být vodorovné a jelikož má drátek tvarovou paměť, nesměl být ani veden přes vodiče. Při odvíjení z předlohy vznikl veliký balón, který způsoboval velmi nerovnoměrný návin. Pro omezení tvorby balónu se dávala přes předlohu punčocha, která zde plnila funkci omezovače. Jelikož má wolfram malou pevnost a tažnost v tahu, tak docházelo k častým přetrhům a docházelo tak ke vzniku obrovských ztrát materiálu. Drátek je velmi hladký a klasický tkalcovský uzel tedy nestačil, musel se proto tvořit tzv. dvojitý tkalcovský uzel. Právě pro svou hladkost se musel začátek i konec drátku na cívce zafixovat – přilepit.



Obrázek 27 Soukací automat Hacoba

2.3.2 TKANÍ KOVOVÉ TKANINY

Tkaní kovové tkaniny bylo prováděno na stuhařském tkacím stroji jehlovém od firmy Jakob Muller, typ NBT A725e. Stroj je čtyřchodý a pracovní šířka má max 50 cm. Je to stroj jednoproslupní.

Tvoří se proslup plný čistý, který vznikne současným zdvihem a stahem dvou částí osnovy ze základní polohy tak, že v přední části proslupu tvoří osnova 2 roviny. Výška zdvihu listů je nestejná. Listy jsou poháněny pomocí vačkového řetězového pásu – kartový pás.

Zanášení útku je jednostranné (systém Ancient Fayelle), tedy s jednou zanášecí jehlou (zanáší se dvojitý útek). Proto vzniká jeden kraj pevný a druhý volný, neparatelný. Aby se tento kraj stal pevným, plete se na této straně z útku řetízky. Pro pletení řetízku je potřeba další přídatná jehla jazýčková, která je kolmá na zanášecí jehlu.

Stroj je vybaven negativním osnovním regulátorem (provazová brzda) a pozitivním zbožovým regulátorem, pomocí kterého je možné měnit dostavu útku ve tkací rovině od 3 do 30 útků na 1 cm.

Do osnovy byl použit wolframový drátek o průměru 100 μm a do útku také wolframový drátek, ale o průměru 50 μm . Jak osnova, tak i útek byly umístěny na cívečnici stroje. Osnova se odtahovala z cívečnice, přes osnovní paprsek, přes soustavu vodících tyčí (žádné brzdičky), do nitěnek, do zubů paprsku až do tkací roviny. Útek se odvíjel z cívečnice, přes soustavu vodících oček přímo k jehle.

Při použití drátku 50 μm do útku docházelo při tkaní k řadě problémů, například se příliš často trhal při zanášení do proslupu. Drátek byl příliš křehký, s vysokou tvarovou pamětí. Proto se do útku použil drátek o průměru 100 μm , který se projevil jako mnohem lepší.

Při převíjení (soukání) vznikla u drátku trvalá deformace, zafixoval se průměr návínu, který se potom při tkaní projevil v hotové tkanině. Takže výsledná tkanina je silně nerovnoměrná co se týče stejnoměrnosti dostavy osnovy v různých místech tkaniny. Nerovnoměrnost se projevila i v případě dostavy útku. Drátek (hlavně slabší) při zanášení klouzal a v osnově nedržel ani po přírazu paprsku.

Technická dokumentace stroje, včetně schémat částí stroje, je uvedena v příloze číslo 1 této diplomové práce.

2.4 NÁVRH TECHNOLOGIE

Na základě všech praktických zkušeností (jak popsané zkoušky, tak zpracování materiálu) byla navržena vhodná technologie výroby kovové tkaniny z w-drátku. Při návrhu technologie hraje rozhodující roli velikost tahové síly.

Wolframové drátky mají malou pevnost a tažnost, a velkou tvarovou paměť (trvalé protažení). Jakmile wolframový drátek vystavíme působení tahové síly, již se nevrátí do původního stavu (jakákoliv manipulace a tím i deformace vede k poškození jeho povrchu). Proto musíme velmi bedlivě volit technologické operace a strojní zařízení, abychom drátek co nejméně vystavovali působení tahových sil.

Při převíjení vzniká trvalá deformace, drátek si zafixuje průměr návínu, který se později projeví při tkaní a v případě osnovního drátku hlavně v hotové tkanině, a to zvlněním. Proto doporučujeme vyvarovat se převíjení, zejména z většího průměru na menší průměr návínu, popřípadě převíjet na veliký průměr, kterým minimalizujeme projev v hotové tkanině.

Doporučujeme vytvořit (sestavit) osnovu přímo z cívek, které dodá výrobce (abychom se vyhnuli jakémukoliv převíjení a tím deformaci). Z dostavy osnovy se propočítá, kolik nití je nutno mít na šíři stroje, zjistí se šíře obdržených cívek, a propočítá se potřebný počet cívek a jejich vhodné uspořádání pro tkaní.

Útkové drátky by se také neměli převíjet, a to ze stejného důvodu jako osnovní drátky. V případě útku postačí odměřovač útku, pro zajištění stejného napětí a tím stejné tahové síly.

Předpokládáme, že nejvhodnějším tkacím strojem bude jehlový tkací stroj, s pevnou jehlou, s běžnou tkací šíří, tzn. 220 cm a s osnovou sestavenou z potřebného počtu cívek. Doporučujeme kraje nejlépe perlinkové. Dále doporučujeme použít páskové brzdičky, které používají především pletaři. Nedocházelo by tak ke zbytečnému porušování povrchu drátku. Tkací stroj by měl být vybaven pozitivním zbožovým regulátorem a pozitivním osnovním regulátorem. To je regulátor s nastavitelným podáváním osnovy a odebíráním tkaniny. Regulátory by měly pracovat synchronně. Je-li osnova příliš napnutá, osnovní dráty se trhají. V opačném případě se vytvářejí vady, nepřesnost rozměrů ok, snížená stabilita vazby a pod.

Pro přehlednost je v následující tabulce znázorněn zrealizovaný výrobní předpis utkané wolframové tkaniny v porovnání s návrhem.

		Realizace	Návrh
Název tkaniny		kovová tkanina	kovová tkanina
Materiál	osnova	wolfram	wolfram
	útek	wolfram	wolfram
Průměr drátu	osnova d_o [μm]	100	100
	útek d_u [μm]	50	100
Jemnost drátku	osnova [tex]	159	159
	útek [tex]	37	159
Dostava	osnovy D_o [m^{-1}]	2900	5000
	útku D_u [m^{-1}]	2900	5000
Celkový počet drátků	osnova	58	11000
	útek	39730	5000000
Spotřeba materiálu	osnova [g/m]	10,25	1943,33
	útek [g/m]	16,33	8833,33
Šířka tkaniny [m]		0,02	2,2
Délka tkaniny [m]		13,70	1000
Hmotnost tkaniny [g.m^{-2}]		568,4	1590
Vazba		plátňová	plátňová
Počet listů		4	4
Návod do brda		rozsazený – 1 ,3 ,2, 4	rozsazený – 1, 3, 2, 4
Číslo paprsku		150	150
Návod do paprsku		2 nitě do zubu	2 nitě do zubu
Kraje		1 pevný, 1 řetízek	perlínka
Prošlupní zařízení		vačkové	vačkové
Tkací stroj		jehlový, s 1 jehlou	jehlový, s pevnou jehlou
Osnovní regulátor		negativní	pozitivní
Zbožový regulátor		pozitivní	pozitivní
Brzdičky		klasické	páskové
Osnova		soukání osnovy	sestavená
Útek		/	odměřovač útku

Tabulka 12 Výrobní přepis – realizace/návrh

2.5 ZJIŠTĚNÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK TKANINY

Jedinou zjišťovanou vlastností utkané kovové tkaniny z wolframového drátku byla adheze.

Jelikož při tkaní kovové tkaniny docházelo k řadě problémů, je tkanina silně nerovnoměrná, co se týče hlavně orientace nití a dostavy osnovy i útku. V průběhu tkaní se například i zkoušely zaměňovat drátky různých průměrů do útku. Proto byla zjišťována orientačně i dostava tkaniny.

2.5.1 DOSTAVA KOVOVÉ TKANINY

Dostava vyjadřuje počet nití na určitou jednotku délky, většinou se udává počet nití na 1 m. Dostava je definovaná zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití.

Podstata zkoušky

Podstata zkoušky spočívá ve spočítání osnovních a útkových nití na 1 cm.

Postup zkoušky

Na náhodně vybraných místech pásku kovové tkaniny se počítaly nitě ve směru osnovy a ve směru útku. Ve směru osnovy je dostava vždy stejná, a to 2900 nití/1 m (dáno navedením daného počtu cívek na stroji). V tabulce jsou znázorněny dostavy útků. Utkány byly dvě varianty dostav útku, a to s použitím drátku 50 μm a 100 μm do útku.

i	Útek 50 µm	Útek 100 µm
1	32	24
2	30	24
3	26	20
4	26	24
5	28	24
6	32	22
7	26	24
8	30	24
9	30	24
10	30	20
Σ	290	230
$\overline{Dú}$	29	23
S	2,36	1,69
S²	5,56	2,89
v	8,14	7,35
IS	27,312÷30,688	21,791÷24,209

Tabulka 13 Zjištěné a vypočítané hodnoty dostav

Při použití drátku průměru 50 µm do útku byla dostava útku 2900 nití na 1 m. Při použití drátku 100 µm do útku byla dostava útku 2300 nití na 1 m.

Při použití drátků průměru 50 µm docházelo při tkaní k řadě problémům. Drátek se především příliš často trhal a po zanesení do tkaniny klouzal a ani po přírazu paprskem ve tkanině nedržel. Dostava tak byla velmi nerovnoměrná.

Při použití drátku průměru 100 µm již nedocházelo k tolika problémům, útek i lépe držel v tkanině a tím je i dostava útku při použití toho drátku stejnoměrnější.

2.5.2 ADHEZE KOVOVÉ TKANINY Z W-DRÁTKŮ

Adheze je schopnost materiálu (především dvou rozdílných materiálů) spolu soudržet. Adheze označuje přilnavost různých materiálů. Jejich soudržnost se nazývá koheze.

Jelikož má být z utkané kovové tkaniny vyroben kompozit s kovovou maticí, konkrétně s měděnou, byl sledován právě poměděný povrch tkaniny.

Nejdříve se musela tkanina pomědit. To se provádělo galvanickým poměďováním (elektrolýzou).

Podstata zkoušky

Elektrolýza je fyzikálně-chemický jev, způsobený průchodem elektrického proudu kapalinou, při kterém dochází k chemickým změnám na elektrodách. Elektricky vodivá kapalina obsahuje směs kladných a záporných iontů vzniklých v kapalině disociací. Průchodem elektrického proudu dochází k pohybu kladných iontů k záporné elektrodě a záporných iontů ke kladné elektrodě. Na elektrodách pak dochází k chemickým reakcím.

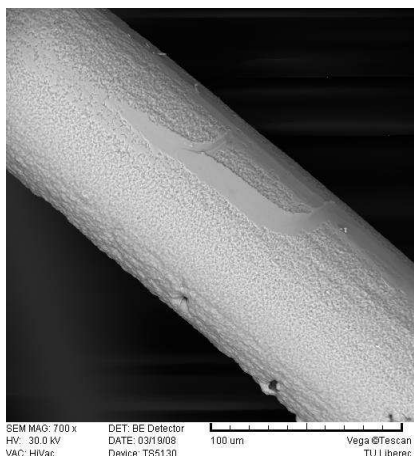
Postup zkoušky

Elektrolytem při galvanickém poměďování byl vodný roztok modré skalice (síran měďnatý CuSO_4) a chalatanu 3 (chalaton se přidal z toho důvodu, aby vytvořená měděná vrstva byla rovnoměrnější, aby reakce probíhala pomaleji, a tím měla lepší mechanické vlastnosti). Kladná elektroda byla z mědi (měděný plíšek) a zápornou elektrodu tvořil vodivý předmět, který měl být pokovován, tzn. wolframová tkanina. Elektrody byly proti sobě. Do roztoku se přiváděl proud cca 0,25A a napětí cca 1,95V po dobu půl hodiny. Modrá skalice se ve vodě disociovala na kationty mědi Cu^{2+} a anionty SO_4^{2-} . Ionty Cu^{2+} byly přitahovány k záporné elektrodě, na které se postupně vytvářel měděný povlak. Ionty SO_4^{2-} byly přitahovány ke kladné měděné elektrodě, z které byly vytrhovány kationty mědi Cu^{2+} .

Zjišťování adheze poměděné wolframové tkaniny bylo prováděno opět na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA.

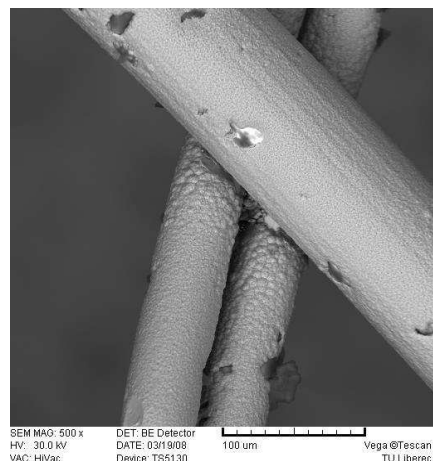
Na následujících obrázcích jsou snímky pokovené (poměděné) wolframové tkaniny.

zv. 700x



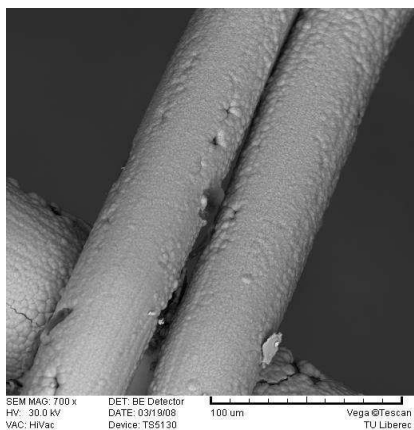
Obrázek 28 Poměděný w-drátek

zv. 500x



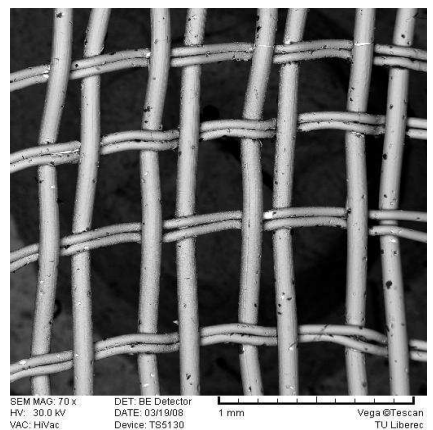
Obrázek 29 Vazný bod

Zv. 700x



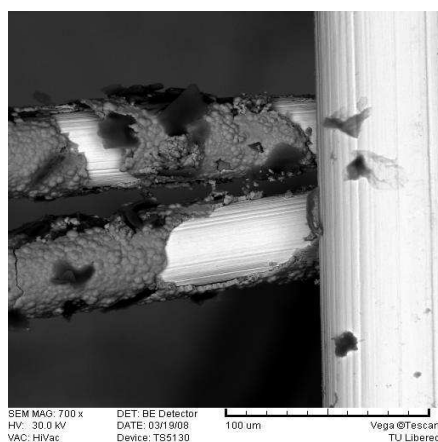
Obrázek 30 Vazný bod

zv. 70x



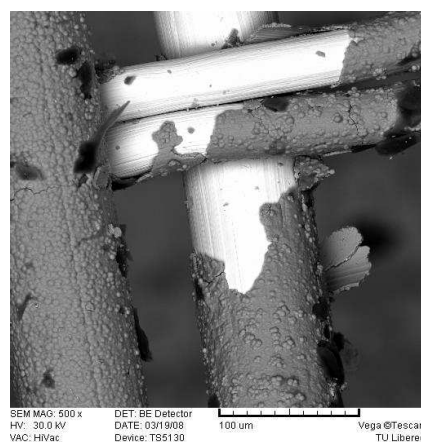
Obrázek 31 Lépe poměděná tkanina

zv. 700x



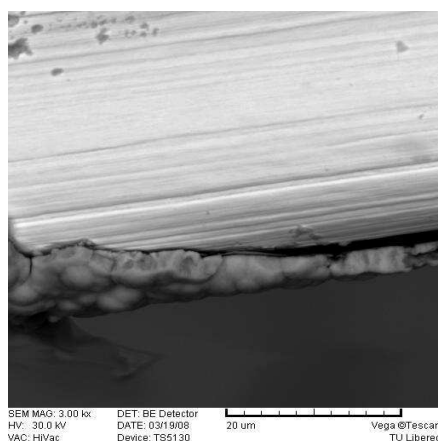
Obrázek 32 Poměděné drátky

zv. 500x



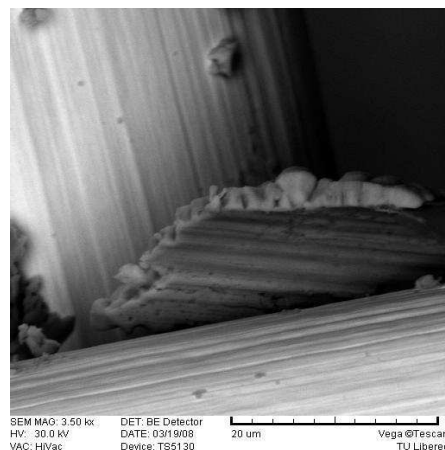
Obrázek 33 Vazný bod

zv. 3000x



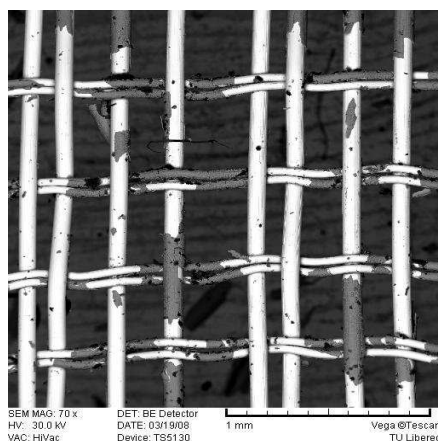
Obrázek 34 Vrstva mědi

zv. 3500x



Obrázek 35 Odloupnutá vrstvička mědi

zv. 70x



Obrázek 36 Hůře pokovená tkanina

Snímán byl poměděný povrch již hotové wolframové tkaniny, která byla vyrobena z wolframových drátků průměru 100 μm a 50 μm . Drátek průměru 50 μm byl použit do útku, drátek průměru 100 μm byl použit do osnovy.

Byly sledovány dvě části poměděné tkaniny. Jedna část byla poměděna pouze po krátkou dobu, orientačně. V tomto případě jsme nedosáhli dobrých výsledků. Druhá část tkaniny se poměďovala déle a ta byla lépe pokovená.

Na obrázcích 28 až 31 jsou snímky lépe poměděná tkaniny a na obrázcích 32 až 36 jsou snímky hůře pokovené tkaniny (orientační pomědění).

Na obrázku 28 je pokovený wolframový drátek. Vytvořená vrstva je téměř celistvá. Původní povrch drátku skoro neprosvítá.

Na obrázku 29 je nasnímán vazný bod (místo překřížení drátků). V místě překřížení je vrstva nerovnoměrná, jsou tam jakoby puchýřky. Pokud je na drátku jakákoliv nerovnoměrnost, popřípadě je poškozený, tak probíhá i nerovnoměrná elektrolýza. V místě nerovnoměrnosti je vyšší hustota elektrického pole a na drátku se uchytlí více mědi (puchýřky). To znamená, že jakákoliv manipulace s drátkem a jakékoliv narušení povrchu vede k horšímu pokovení a tím i horší adhezy.

Z celkového pohledu na poměděnou tkaninu (obrázek 31) je vidět, že vytvořená vrstva mědi je téměř souvislá. Tmavá místa jsou vrstvičky mědi a světlá místa jsou prosvítající původní w-drátek.

Na obrázcích 32 a 33 je nasnímána orientačně poměděná tkanina a vazné body. Je patrné, že při orientačním pokovení se wolfram pomědil hůře. Drátek není skoro vůbec pokoven. Vytvořená vrstva mědi na w-drátku nedrží, odlupuje se, což je vidět i na obrázku 35. Na obrázku 34 je vidět, jak silná vrstvička mědi se vytvořila.

Na obrázku 36 je celkový pohled na hůře, orientačně, pokovenou tkaninu. Světlá místa jsou původní w-drátek a tmavá místa jsou vrstvičky mědi, naopak, než tomu bylo u lépe poměděné tkaniny.

Po tomto pokusu můžeme tedy konstatovat, že wolfram lze pomědit elektrolyticky, je zde dobrá adheze i koheze. Je ale nutné se vyhnout jakékoliv zbytečné manipulaci s materiálem, který vede k narušení povrchu drátku a tím i ke zhoršení adheze.

Pro lepší pokovení (rovnoměrnější a kvalitnější) ale doporučuji elektrolýzu nechat probíhat mnohem déle a pomaleji (např. 10x), při nižších hodnotách proudu a napětí, popřípadě, aby elektrolýza probíhala při pohybu.

3. DISKUSE A ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo stanovit výrobní předpis pro výrobu wolframové tkaniny, kovovou tkaninu vyrobit a stanovit podmínky, za kterých ji lze utkat. Dalším úkolem bylo zjistit vybrané charakteristiky použitého materiálu, tzn. wolframových drátků a zjistit vybrané charakteristiky kovové tkaniny utkané z těchto drátků. Byly použity dva druhy wolframových drátků, lišící se průměrem. Drátky byly průměru 50 a 100 μm .

U drátků se ověřoval průměr drátku, zjišťovaly se jemnosti, pevnost a tažnost v tahu, pevnost a tažnost v uzlu, pevnost ve smyčce a cyklické namáhání. Dále byl sledován i povrch wolframového drátku a jeho narušení během výroby tkaniny a povrch příčného řezu drátku. U tkaniny se zjišťovala dostava osnovy a útku a adheze wolframové tkaniny.

Zjištění průměrů drátků bylo provedeno na projekčním mikroskopu Lanametr, v rámci zjišťování pevnosti ve smyčce, z důvodu ověření. Výrobce w-drátků sice udává průměry (50 a 100 μm), většina výrobců ale neudává pravdivé a přesné hodnoty. Zjištěné průměry byly 52 a 112 μm . Měření průměru na Lanametru je ale zatíženo nepřesností a individuální chybou, drátek je pozorován pouhým okem, a proto může dojít k menším rozdílům v porovnání s hodnotami danými výrobcem.

Dále se zjišťovala jemnost. U drátků se sice místo jemnosti udává průměr drátu, pro přepočet některých vztahů bylo ale nutné ji znát. Jemnost se zjišťovala jak teoreticky (odvozením ze vzorce pro průměr), tak prakticky (gravimetrickou metodou). Teoretické jemnosti byly 37,8 tex a 151,2 tex a skutečné jemnosti byly 37 tex a 159 tex. Porovnáme-li skutečné hodnoty s teoretickými, jsou téměř totožné. Menší nepřesnosti mohou být způsobeny zpracováním. Měření jemnosti u drátku průměru 100 μm bylo totiž provedeno již s drátky přesoukanými. Převíjením vzniklo u drátku trvalé protažení, což vedlo ke změně průměru drátku (zmenšení).

Dalšími zjišťovanými vlastnostmi w-drátků byly povrch a příčný řez drátku. Zjišťování bylo provedeno na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA, který je plně řízen počítačem. W-drátek má charakteristický rys, a to rýhovaný povrch. Drátek průměru 100 μm má výrazně větší rýhování, oproti jemnějšímu drátku. Což vyplývá z výroby drátku. Pokud jsme porovnali povrchy drátků stejného průměru (100 μm), ale před soukáním (tzn. v původním stavu, tak, jak jsme ho obdrželi od výrobce) a po

soukání (tzn. po deformaci), zjistili jsme, že drátek po soukání nemá tak výrazné rýhování, ba naopak po deformaci výrazně rýhování ztrácí. To je způsobeno tím, že při převíjení vzniká trvalé protažení – nevratná deformace. A jelikož má wolframový drátek velikou tvarovou paměť a dochází k trvalému protažení, tak se povrch drátku uhlazuje a tím dochází i k vyhlazení jeho typického rýhování. Jakékoliv zpracování drátku tedy vede k poškození jeho povrchu (technologické operace, vedení přes vodící elementy atd.) a tím i následně ke zhoršení jeho mechanických vlastností a vlastností obecně.

Porovnáme-li povrch příčného řezu drátku 50 μm a 100 μm , je patrný veliký rozdíl ve struktuře povrchu. Silnější drátek má strukturu spíše celistvou, kdežto slabší drátek, tzn. i křehčí, má strukturu silně narušenou. Na jeho povrchu řezu jsou vidět prasklinky, které mohou být způsobeny již výrobou drátku.

Další zjišťovanou charakteristikou byla pevnost a tažnost v tahu. Zkouška byla provedena na trhacím přístroji TIRA TEST 2300 a byla provedena na krátkých a na dlouhých úsečkách. Vycházelo se totiž z předpokladu, že s nárůstem upínací délky bude zjišťovaná pevnost klesat. Tento předpoklad se potvrdil. Ale spíše u drátku průměru 100 μm . Drátek slabší je více náchylnější a více nestejnomořný a nelze u něj tedy předpoklad potvrdit. Rozdíly u pevností jsou ale pouze minimální. Drátky se chovají jinak než běžný textilní materiál, ten je více nestejnomořný a tudíž má výrazně větší rozdíly v pevnostech na krátkých a dlouhých úsečkách. Zjišťované parametry byly doplněny tahovými křivkami. Při srovnání jednotlivých tahových křivek drátků bylo patrné, že skoro všechny drátky mají téměř totožný průběh pevnosti. Drátky jsou stejnoměrnější než běžný textilní materiál, což je dáno jejich výrobou. Pouze bylo z grafů patrné, že k přetrhu jednotlivých drátků docházelo v rozdílném čase, na rozdílné délce protažení, od 6 po 15 mm protažení, což je veliké rozpětí.

Dále se zjišťovala pevnost a tažnost v uzlu. Stanovení pevnosti a tažnosti v uzlu bylo opět provedeno na trhacím přístroji. Ovšem tato zkouška se povedla pouze u silnějšího drátku. U slabšího drátku přístroj nestihl zaregistrovat okamžik přetrhu. Byl zde stanoven předpoklad, že pevnost v uzlu odpovídá přibližně sedmdesáti procentům pevnosti v tahu. Tento předpoklad se také potvrdil. Parametry byly doplněny tahovými křivkami, z kterých bylo opět patrné, že téměř všechny jednotlivé drátky mají téměř totožný průběh. Zde již docházelo k přetrhu drátků v téměř stejný okamžik, na téměř stejné délce protažení, rozpětí zde bylo zhruba od 4 do 5 mm.

Dle zjištěných charakteristik bylo patrné, že wolframový drátek má malou pevnost a malou tažnost. Oproti běžnému textilnímu materiálu je tažnost řádově 10x – 100x nižší. Dále má w-drátek velmi vysoký modul pružnosti. Proto se předpokládalo, že při zpracování tohoto materiálu (převíjení, tkaní atd.) bude docházet k řadě problémům.

Dále se zjišťovala pevnost ve smyčce, neboli křehkost. Smyčkový test byl proveden pomocí projekčního mikroskopu Lanametr. V případě zjištění křehkosti wolframových drátků se ovšem tato metoda neosvědčila. Nezdařilo se stanovení kritického průměru přetrhu, neboť vůbec nedošlo k přetrhu drátku. Ten se nepřetrhl z důvodu vysokého modulu pružnosti, vysoké vlastní tuhosti. Tato metoda je tedy spíše vhodná pro mnohem křehčí vlákna, jako jsou například uhlíková či čedičová. Pro stanovení křehkosti w-drátků byl popsán návrh jiné, vhodnější, metody.

Jako doplňující měření bylo provedeno cyklické namáhání. Cílem tohoto měření bylo zjistit, jakým způsobem narůstá trvalá deformace, a zda vůbec. Cyklické namáhání bylo opět provedeno na trhacím přístroji TIRA TEST 2300. Opět byly zjišťované parametry doplněny grafy (průběhy cyklického namáhání). Bylo zjištěno, že jakmile jednou drátek vystavíme působení tahové síly, již se nevrátí do původního stavu a nastává tak u něj plastická deformace, která tedy nastává již při prvním cyklu. Trvalá deformace pak již téměř nenarůstá.

Nejenom tedy, že je wolframový drátek málo pevný a tažný, ale již při prvním zatížení u něj vzniká trvalé protažení (trvalá deformace).

Jelikož má být z utkané tkaniny vyroben kompozit s kovovou maticí, konkrétně s měděnou, byla dále sledována právě adheze wolframu s mědí. Nejdříve se museli wolframové drátky pomědit. To se provádělo galvanickým pokovováním (elektrolýzou). Zjišťování adheze bylo opět prováděno na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA. Byly sledovány dvě části poměděné tkaniny. Jedna část byla pokovena pouze po krátkou dobu, orientačně. V tomto případě jsme nedosáhli dobrých výsledků. Vytvořená vrstvička mědi na drátku nedržela a odlupovala se. Druhá část tkaniny se poměďovala déle a ta byla lépe pokovena, drátek byl téměř celistvě pokryt vrstvou mědi. Pokud ale byla na drátku nějaká nerovnoměrnost, nebo pokud byl drátek poškozen, tak probíhala i nerovnoměrná elektrolýza. V tomto místě byla vyšší hustota elektrického pole a na drátku se uchytilo více mědi. Čímž vznikaly například jakoby puchýřky. Lze tedy konstatovat, že wolfram lze pokovit elektrolyticky, byla dobrá

adheze i koheze. Je ale nutné se vyhnout jakémukoliv narušení povrchu drátku, což vede ke zhoršení adheze.

Dalším cílem diplomové práce bylo stanovit výrobní předpis pro výrobu tkaniny z wolframových drátků, včetně nákladů na výrobu, a danou tkaninu vyrobit.

Přepočítali-li jsme cenu na 1 m² tkaniny, pak celkové výrobní náklady činily 16040,50 Kč/1 m². Wolfram je velmi drahý materiál a tím jsou tedy i velmi vysoké výrobní náklady.

Výroba tkaniny z wolframového drátku byla uskutečněna ve firmě Elas, v Hrádku nad Nisou, a materiál byl zakoupen od firmy Osram Bruntál. Před vlastním tkaním se musel stanovit výrobní postup. Ten v tomto případě obsahoval pouze soukání osnovy a vlastní tkaní.

Materiál do osnovy byl obdržen od výrobce pouze na 2 cívkách. Bylo tedy nutné převinout osnovu na potřebný počet cívek. Převíjení probíhalo na soukacích automatech firmy Hacoba. Odvíjení drátku z předlohy muselo být vodorovné a nesměl být ani veden přes žádné vodiče. Při odvíjení z předlohy vznikl veliký balon, který způsoboval velmi nerovnoměrný návin, který se později projevil při tkaní. Stejně tak při převíjení vznikla u drátku trvalá deformace, zafixoval si průměr návinu, který se pak při tkaní projevil v hotové tkanině. A jelikož má wolfram malou pevnost a tažnost, tak docházelo k častým přetrhům a tím ke vzniku obrovských ztrát materiálu.

Tkaní bylo prováděno na stuhařském tkacím stroji jehlovém s jednou jehlou, od firmy Jakob Muller, typ NBT A725e, na kterém se tvořil plný čistý prošlup. Stroj je vybaven negativním osnovním regulátorem a pozitivním zbožovým regulátorem. Do osnovy byl použit drátek 100 μm a do útku byl použit nejdříve drátek 50 μm. Docházelo ale k řadě problémů (příliš často se trhal při zanášení do prošlupu, byl příliš křehký s velikou tvarovou pamětí), takže byl následně použit i drátek 100 μm, který se projevil jako mnohem lepší.

Drátek průměru 50 μm sice více připomíná textilní materiál, ale je to drátek s velikou tvarovou pamětí a dochází u něj k lámání. Více se u něj projevují nestejnomyšlnosti a je více náchylnější. Při použití tohoto drátku do útku se ani nepovedlo běžné rozběhnutí stroje. Muselo se ručně otáčet kolem pro ruční otáčení mechanismů na stroji. K běžnému rozběhu stroje nedošlo ani pokud jsme snížili počet kontaktních míst (brzdění, vodiče atd.), aby nedocházelo ke zbytečnému narušování

povrchu a tím ke snižování pevnosti. Při použití drátku 100 μm do útku se již povedlo stroj rozběhnout. Projevila se zde ale kvalita soukání. Pokud byl kvalitní návin, rovnoměrný, tak stroj běžel, a naopak.

Na základě všech těchto praktických zkušeností (jak popsané zkoušky, tak zpracování materiálu) byla navržena vhodná technologie výroby. Při návrhu technologie hrála rozhodující roli velikost tahové síly. Jelikož má w-drátek malou pevnost, malou tažnost, velkou tvarovou paměť a dochází u něj k trvalé deformaci již při prvním vystavení působení tahové síly, tak musíme velmi opatrně volit technologické operace a strojní zařízení, abychom drátek co nejméně zatěžovali. Jelikož tedy při převíjení vzniká trvalá deformace a drátek si zafixuje průměr návinu, je tedy lepší pokud možno převíjení (jak osnovy, tak útku) vynechat, popřípadě převíjet na větší průměr návinu. Nejvhodnější je osnovu sestavit přímo z cívek, který se obdrží od výrobce. Pro útek postačí odměřovač útku, který zajistí stejné napětí a tím stejné tahové síly. Nejvhodnějším tkacím strojem bude jehlový tkací stroj, s pevnou jehlou a běžnou tkací šíří, tzn. šíří 220 cm. Kraje by měli být nejlépe perlinkové a ideální brzdičky by byly páskové, aby nedocházelo ke zbytečnému porušování povrchu drátku. Stroj by měl být vybaven pozitivním zbožovým regulátorem a pozitivním osnovním regulátorem, což je regulátor s nastavitelným podáváním osnovy a odebíráním tkaniny.

Cílem této práce bylo ověřit výrobu wolframové tkaniny a stanovit podmínky, za kterých ji lze utkat. Experimentem bylo tedy ověřeno, že wolframovou tkaninu lze utkat. Při výrobě tkaniny ale docházelo k řadě problémům. Při zpracování tohoto materiálu je tedy nutné brát v potaz veškeré informace o tomto materiálu a tomuto přizpůsobit i výrobní předpis.

Výsledkem diplomové práce je tedy utkaná wolframová tkanina, ze které bude vyroben kompozit s kovovou maticí, který bude použit do mikroelektroniky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Lukáš, D.: Teorie netkaných textilií. KNT, TUL 2001
- [2] Bareš, A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 1988
- [3] Sodomka, L.: Textilie jako ortodoxní kompozitní materiál. Textil 40. č. 7. 8. 9.
- [4] http://stefanmichna.com/download/technicke-materiály_II/kompozitni-materialy.ppt [cit.2007-12-10]
- [5] Vojtěch, D.: Kovové materiály. VŠCHT Praha, 2006
- [6] Sémanová, J., Chrpová, E.: Návod na cvičení. Speciální tkalcovské výroby. TU Liberec, 2007
- [7] <http://www.kovovetkaniny.cz> [cit.2007-11-15]
- [8] <http://www.mdl.cz> [cit.2007-11-15]
- [9] Standardy kvality kovových tkanin: DIN ISO 4783, W&E norma pro výrobu kovových tkanin. <http://www.eurometex.cz> [cit.2007-11-15]
- [10] <http://cs.wikipedia.org> [cit.2007-11-15]
- [11] <http://wikipedia.infostar.cz> [cit.2007-11-15]
- [12] <http://www.nom.wz.cz> [cit.2007-11-15]
- [13] Greenwood, N., N., Earnshaw, A.: Chemie prvků II. Informatium Praha 1993
- [14] Cotton, F., A., Wilkinson, G.: Anorganická chemie. Academie Praha 1973
- [15] Remy, H.: Anorganická chemie. SNTL Praha 1971
- [16] Štefánik, P.: Kovové kompozitné materiály s extrémne vysokou tepelnou vodivosťou. Prednáška. SAV Bratislava 2007
- [17] <http://www.webelements.com> [cit.2007-12-09]
- [18] Ptáček, L.: Nauka o materiálech, díl 2. CERM Brno, 2002
- [19] Krásná, G.: Rozbor struktury a geometrie kovových tkanin. Diplomová práce, TUL 1990
- [20] Šimko, M.: Přírodní rostlinná vlákna jako vyztužující prvky polymerních matic kompozitních systémů. Diplomová práce, TUL 2007
- [21] Tomková, B.: Kompozity s textilní výztuží. Přednášky. TUL 2007
- [22] Vega TS 5130. Technický popis a návod k obsluze. Tescan, s. r. o.. Brno
- [23] Kolektiv autorů: Strutex. FT, TUL 1998

- [24] Talavášek, O.: Tkací stroje člunkové, bezčlunkové a víceprošlupní. SNTL Praha, 1988
- [25] Lord, P., R., Mohamed, M., H.: Weaving: Conversion of yarn to fabric. Merrow Publishing 1992.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Technická dokumentace jehlového tkacího stroje Jakob

Muller NBT A725e